

Benkő Zsolt István – Pitrik József

**Energetika –
Energiamenedzsment**

2010–2011

Szerzők
Benkő Zsolt István
(1–6. fejezet)

Pitrik József
(7–15. fejezet)

Lektor
Dózsa Gábor

Kipróbálásban részt vettek a
a Technikatanár MSc levelezőképzés hallgatói
SZTE JGYPK Technika Tanszék

Készült a 2010-TÁMOP-4-1-2-A-Energiamenedzsment
program keretében

ISBN

Tartalom

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Menedzsment / energiamenedzsment fogalomkör értelmezése. | 5 |
| 2. | Energodinamika értelmezése, főtételei, leírási módok. | 7 |
| 3. | Állapot, állapotjellemezés. Állapotváltozás, állapotváltoztatás. | 17 |
| 4. | Jellegzetes állapotváltozások, leírásuk: p-v, T-s, i-s diagrammokban. | 21 |
| 5. | Elméleti és valóságos körfolyamatok. Értékelési módok. | 41 |
| 6. | Energiaigény, előrejelzése. Várható fogyasztás modellezése. Energiafogyasztás menedzselése: fogyasztásmérés – fogyasztó ki-, bekapcsolása. Statikus és dinamikus árazás. | 67 |
| 7. | Energiatermelés rendszere | 73 |
| 8. | Energiatermelő rendszerek üzeme. | 83 |
| 9. | Centralizált és decentralizált energetikai rendszerek és együtműködésük. | 109 |
| 10. | Villamos erőművek és energetikai összehasonlításuk. | 111 |
| 11. | Energiatudatosság. Személyes-, települési-, és gazdasági érdekek. | 137 |
| 12. | Energia és a társadalom | 145 |
| 13. | Energetikai–környezeti problémák és hatásrendszerek. | 153 |
| 14. | Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben I. | 167 |
| 15. | Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben II. | 177 |

1. Menedzsment / energiamenedzsment fogalomkör értelmezése

Napi életünk során nem tudunk megnevezni egyetlen tevékenységet sem, amelyhez ne lenne szükségünk energiára. Ha éppen nem csinálunk semmit, akkor is használunk energiát. Az életfunkciók fenntartásához szervezetünk a táplálék formájában bevitt energiát használja fel. Az általunk viselt ruhák előállítására is igényel energiát. Az, hogy eljussunk a munkahelyre, iskolába, majd onnan újra az otthonunkba, szintén energiát igényel. A téli fűtés, esetleg a nyári hűtés ugyancsak energia segítségével lehetséges.

Életünket át- és átszövi az energia; nagyon sokféle alakban találkozhatunk vele: hő formájában fűti az épületeket, megfőzi és megsüti ételünket, megolvasztja és önthetővé teszi a fémeket, világításra készíti a wolframszálat az izzókban, erőművekben gőzt fejleszt, hogy villamos energiát lehessen előállítani. Ezen kívül nagyon sok termék gyártása során hőkezelésre van szükség.

Villamos energia formájában szinte minden háztartási eszközünket működteti, bevilágítja a helyiségeket, köztereket. Az ipari termelés során használatos gépek közül is nagyon sok villamos energiával működik.

A belső égésű motorokban az üzemanyagok kémiai energiája alakul át hővé, majd mozgássá (mechanikai energia).

A vízerőművekben a víz potenciális energiáját alakítjuk át villamos energiává. Az atomerőművekben az atommagok kötési energiáját alakítjuk át először hővé, majd mechanikai energiává végül villamos energiává.

A Földön a levegő és víz körforgását a Nap kisugárzott energiája biztosítja. Az élőlények többsége is végső soron a Nap kisugárzott energiáját használja. A növények közvetlenül (fotoszintetizálnak), az állatok pedig közvetett módon (megeszik a nagy energiatartalmú vegyületeket).

Einstein híres képlete ($E = mc^2$) szerint az anyag és az energia egymásba kölcsönösen átalakítható.

A mindennapi életben sokszor lehet hallani „energiaválságról”, vagy „energia-éhségről”, mely leginkább annak a kifejezése, hogy az emberiség ma több energiát és többféle energiatípust igényel, mint eddig a történelem során bármikor. Ezen igények kielégítése pedig már komoly tervezést, felkészültséget követel.

Az energiamenedzsment az energiával való gazdálkodást jelenti. Figyelembe kell venni minden lehetséges felmerülő igényt, s ezek kielégítéséről úgy kell megpróbálni gondoskodni, hogy közben a természetes környezetünket ne tegyük alkalmatlanná az emberi életre.

Ma egyre inkább előtérbe kerül, hogy a rendelkezésre álló energiaforrásokból a lehető legtöbbet tudjuk hasznosítani. Bebizonyosodott, hogy azok a források, melyekre az ipari forradalom kezdete óta támaszkodunk, véges készletekkel bírnak.

Folynak kísérletek a szabályozott termofúziós reakció létrehozására, mely a Nap és a csillagok energiatermelését hozná el a Földre, s az energiával kapcsolatos problémákat valószínűleg örökre megoldaná, de egyelőre még nem jártak sikerrel.

Alternatív megoldásokat keresünk, és olyan forrásokat próbálunk használni saját igényeinkhez, melyek megújulnak (több keletkezik belőlük, mint amennyit fel tudunk használni). Ilyenek a szél, a víz és a napfény energiáját hasznosító megoldások.

Az eszközeinket egyre jellemzőbb módon úgy tervezik meg és hozzák létre, hogy a legkevesebb energiát használják fel. A kulcsszavak a takarékoság és a magas hatásfok.

Az ilyen precízen megtervezett eszközök is csak akkor lesznek azonban takarékosak, jó hatásfokúak, ha a felhasználók/vásárlók is tudatában vannak az energiával, energiatermeléssel összefüggő alapvető természeti, gazdasági és társadalmi törvényszerűségeknek.

Az energiával való helyes gazdálkodás elsajátítása nélkülözhetetlen az emberiség hosszú távú fennmaradásához.

Az Energetika – Energiamenedzsment című e-könyv a környezetmérnök képzéshez szükségesnek tartott problémaköröket dolgozza fel, új szemléletben. Számítunk arra, hogy az olvasó témában való elmélyüléshez kedvet kap és kíváncsiságát kielégítve hasznos háttérismeretekhez jut.

2. Ergodinamika értelmezése, főtételei, leírási módok

Az energia fogalmának kialakulása történetileg a munkavégzés definíciójához kapcsolódik. Kezdetben az energiát a munkavégző képességgel azonosították, később a hőmennyiséget is hozzávették. A középiskolai tanulmányok során ezen nem is nagyon szokás túllépni. A világban tapasztalható egyre több jelenség megmagyarázáshoz azonban a fogalom árnyaltabb lett, tartalmilag bővült.

Jelenlegi ismereteink alapján az **energia olyan, másra vissza nem vezethető, megmaradó, állapotjellemező skalármennyiség, ami a gravitációs tér forrása.**

A **munka**: rendszer határfelületén fellépő energiáttranszport-mennyiség, amelyet a kölcsönhatáshoz tartozó és a hőmérséklettől különböző intenzív állapotjellemező inhomogenitása, a hajtóerő hoz létre. A munka mindig impulzus átadást is jelent.

A **hő**: a rendszer határfelületén fellépő nyugalmi energiáttranszport nélküli energiáttranszport-mennyiség, melyet a hőmérséklet-eloszlás inhomogenitása, mint hajtóerő hoz létre.

Az energia megmaradása egy fontos empirikus tétel¹, amit korábban számos esetben megkíséreltek cáfolni, de főleg a XX. századi vagy újabb kísérletek bizonyították igazát. Ugyanis az energiamérleg látszólagos hiánya kivétel nélkül valamilyen új jelenség vagy részecske felfedezéséhez vezetett, mellyel az energiamérleg újra egyensúlyba került.

Az ergodinamika a valóságban előforduló rendszerek energia szempontú leírására törekszik. Ilyen értelemben a klasszikus termodinamika kiterjesztésének tekinthető nem csak gáz halmazállapotú rendszerek leírására. Ergodinamikai rendszerek bármilyen halmazállapotúak lehetnek, és a rendszerben egyidejűleg többnyire nem csak egyetlen kölcsönhatás, folyamat van. Mindezek ellenére a rendszer és környezetének leírására jól használhatóak a klasszikus termodinamika megállapításai, összefüggései. Így például a klasszikus termodinamika főtételei továbbra is érvényesek (a megfelelő, kiterjesztett módon értelmezve).

¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 385-386

2.1 Az I. főtétel

Az első főtétel az energiamegmaradás törvényének egyik megfogalmazása. Egy rendszer a környezetével kétféle módon cserélhet energiát. A rendezett módon történő energiacsere a munkavégzés, a rendezetlen módú a hőcsere. A szokásos alakban^{2,3}:

$$\Delta U = W + Q \quad (2.1)$$

ahol ΔU a rendszer belső energiájának megváltozása, W a munka, Q a hőcsere. A főtétel ebben az alakjában akkor érvényes, ha a rendszerben nem játszódik le kémiai reakció.

A rendszer szempontjából pozitív a hőmennyiség, ha az a rendszerbe áramlik be, és negatív, ha a rendszerből áramlik kifelé. A rendszer szempontjából pozitív a munka, ha azt a rendszeren végzik külső erők (a rendszer így energiát nyer), és negatív, ha a rendszer végez munkát a környezetén (a rendszer így energiát veszít).

Az I. főtétel differenciális alakja:

$$dU = dW + dQ \quad (2.2)$$

alkalmas arra, hogy bármilyen lezajló folyamatot le lehessen írni vele.

A belső energia infinitezimális alakja (dU) úgynevezett *teljes differenciál*. Ez matematikai megfogalmazása annak, hogy a belső energia *állapotfüggvény*, azaz alkalmas a rendszer teljes jellemzésére valamilyen szempont szerint.

A belső energia csak az egyik a hasonló állapotfüggvények közül, amelyek segítségével a rendszer leírható. Ezeket az állapotfüggvényeket *termodinamikai potenciáloknak* is nevezik^{4,5}. A többi termodinamikai potenciál:

$$F = U - TS \quad (2.3)$$

a Helmholtz-féle szabad energia (T a termodinamikai hőmérséklet, S az entrópia);

$$H = U + pV \quad (2.4)$$

az entalpia – régebbi irodalmakban az entalpia jele gyakran I – (p a nyomás, V a térfogat);

$$G = U + pV - TS \quad (2.5)$$

a szabad entalpia vagy Gibbs-potenciál.

² Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 386-387

³ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 109

⁴ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 159-164

⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 391, 410-411

2.2 A II. főtétel

A második főtétel a folyamatok irányára vonatkozóan tartalmaz megállapításokat. Vannak reverzibilis (megfordítható) és irreverzibilis (nem megfordítható) folyamatok. A második főtétel abban segít, hogy egy adott folyamatról megállapíthassuk, hogy az reverzibilis vagy irreverzibilis-e.

A főtétel matematikai megfogalmazása az entrópia segítségével zárt rendszerre^{6,7}:

$$\Delta S \geq 0 \quad (2.6)$$

Az entrópia-változás kiszámítása, amíg a rendszer az 1 állapotból eljut a 2 állapotba a következő képlet segítségével lehetséges:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (2.7)$$

A makroszkópikus jelenséges tanulmányozásával az entrópia értéke csak egy additív konstans erejéig határozható meg, hiszen a folyamatok során csupán az entrópia-változás számítható ki. Az entrópia abszolút értékének meghatározásához és az entrópia mélyebb jelentéséhez a mikroszkópikus értelmezés szükséges. A *termodinamikai valószínűség* (W)^{8,9} egy adott makroállapothoz tartozó mikroállapotok száma. Ennek illusztrálásához tekintsük a következő példát: tekintsünk egy fallal elfelezett tartályt, amiben összesen 4 molekula található. A falon akkora nyílás található, hogy a molekulák szabadon átjárhatnak. Ekkor a következő állapotok lehetségesek:

| makroállapot | molekulák száma a bal ténfélen | molekulák száma a jobb ténfélen |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <i>A</i> | 4 | 0 |
| <i>B</i> | 3 | 1 |
| <i>C</i> | 2 | 2 |
| <i>D</i> | 1 | 3 |
| <i>E</i> | 0 | 4 |

Ez összesen 5 kívülről látható makroállapot. Az *A* állapot csak egyféleképpen valósítható meg: ha az összes molekula a bal ténfélen van. Az *A* állapot termodinamikai valószínűsége 1. A *B* állapothoz akkor jutunk, ha a 4 molekulából

⁶ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 407

⁷ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 157

⁸ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 434-438

⁹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 165-171

egy a jobb ténfélre átkerül. A molekulák egymástól megkülönböztethetetlenek, így a 4 közül akármelyik lehet. Matematikailag megfogalmazva a 4 elemű halmazból egyet kell kiválasztani. Ez

$$\binom{4}{1} = \frac{4!}{1!(4-1)!} = 4$$

féleképpen lehetséges. Ez a B állapot termodinamikai valószínűsége. Szimmetrikus volta miatt ugyanennyi a termodinamikai valószínűsége a D állapotnak is. A C állapot termodinamikai valószínűsége hasonló megfontolás alapján:

$$\binom{4}{2} = \frac{4!}{2!(4-2)!} = 6$$

| makroállapot | molekulák száma a bal ténfélén | molekulák száma a jobb ténfélén | mikroállapotok száma | termodinamikai valószínűség W |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| A | 4 | 0 | 1 | 1 |
| B | 3 | 1 | 4 | 4 |
| C | 2 | 2 | 6 | 6 |
| D | 1 | 3 | 4 | 4 |
| E | 0 | 4 | 1 | 1 |

A mikroállapotok teljesen azonos eséllyel következnek be, de látható, hogy az egyenletes eloszlás (2-2) másfélszer gyakrabban fordul elő, mint a (3-1) eloszlás, és hatszor gyakrabban, mint az, hogy az összes molekula például a bal ténfélén van. A termodinamikai valószínűség és az entrópia közötti összefüggést *Boltzmann* mutatta ki:

$$S = k \ln W \quad (2.8)$$

ahol $k = 1,38065 \cdot 10^{-23}$ J/K a Boltzmann-állandó.

Az entrópia-változás:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \ln W_2 - k \ln W_1 = k \ln \frac{W_2}{W_1} \quad (2.9)$$

ahol W_2 a 2 állapot termodinamikai valószínűsége, W_1 az 1 állapoté.

Számítsuk ki a következő példát: keverjük össze 1 g 0 °C-os és 1 g 1 °C-os vizet úgy, hogy közben a környezetétől szigeteljük el a rendszert. Eredményül 2 g 0,5 °C-os vizet kapunk. Az egyszerűség kedvéért most tekintsük az entrópia

szempontjából viszonyítási pontnak a 0 °C-os hőmérsékletet ($T_0 = 273,15 \text{ K}$). Ekkor adott mennyiségű, T hőmérsékletű víz entrópiája:

$$S = \int_{T_0}^T \frac{cm dT}{T} = cm \int_{T_0}^T \frac{dT}{T} = cm [\ln T]_{T_0}^T = cm \ln \frac{T}{T_0} \quad (2.10)$$

ahol c a víz fajhője ($c = 4183,2 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$), m a víz tömege. Az összekeverés előtt a rendszer entrópiája:

$$S = c \cdot 1 \text{ g} \cdot \ln \frac{273,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} + c \cdot 1 \text{ g} \cdot \ln \frac{274,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} = 0,015287 \text{ J} / \text{K}$$

Az összekeverés után:

$$S = c \cdot 2 \text{ g} \cdot \ln \frac{273,65 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} = 0,015301 \text{ J} / \text{K}$$

A különbség:

$$\Delta S = 0,000014 \text{ J} / \text{K}$$

A (2.9) egyenlet alapján az összekeveredés körülbelül $10^{4,4 \cdot 10^{17}}$ -szer valószínűbb, mint az, hogy a keverék spontán szétváljon újra az eredeti 0 és 1 °C-os vízre. Ez hatalmas szám; így a spontán szétválás nem következik be.

A zárt rendszerre a (2.6) egyenlettel megfogalmazott entrópia növekedésének (nem csökkenésének) elve tulajdonképpen azt mondja ki, hogy a zárt rendszer mindig a nagyobb valószínűségű állapot felé halad és egyensúlyi állapota a legnagyobb valószínűségű állapot.

2.3 A III. főtétel

A harmadik főtétel legegyszerűbb megfogalmazása az, hogy a 0 K hőmérséklet nem érhető el^{10,11}. (Tetszőleges mértékben persze megközelíthető.)

Matematikailag ez alábbi két képlettel egyenértékű:

$$\lim_{T \rightarrow 0 \text{ K}} S = 0 \quad (2.11)$$

vagy

$$\lim_{T \rightarrow 0 \text{ K}} c = 0 \quad (2.12)$$

¹⁰ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 413-415

¹¹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 172-174

Utóbbi képlet azt fejezi ki, hogy minél jobban le van hűtve az adott rendszer, annál érzékenyebb; azaz ugyanakkora hőmennyiség hatására a hőmérséklete annál többet emelkedik, minél alacsonyabb volt eredetileg.

2.4 A fundamentális egyenlet

Ha a belső energiát felírjuk az entrópia (S), a térfogat (V) és az anyag mennyiségét megadó mólszám (n) függvényeként:

$$U = U(S, V, n) \quad (2.13)$$

akkor a homogén függvényekre vonatkozó matematikai megfontolások alapján a belső energiára az úgynevezett *Euler-egyenletet* kapjuk meg:

$$U = TS - pV + \mu n \quad (2.14)$$

ahol μ az anyag *kémiai potenciálja*. Ha a rendszerben a folyamat során kémiai reakció nem játszódik le, akkor ez utóbbi tagtól el is lehet tekinteni. Általános esetben, ha többféle anyagi minőség található a rendszerben (legyen j darab komponens), akkor az Euler-egyenlet a következő alakú lesz:

$$U = TS - pV + \sum_{i=1}^j \mu_i n_i \quad (2.15)$$

Az I. főtételel infinitézimális alakját felírva:

$$dU = dQ + dW + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.16)$$

Infinitézimális mennyiségű hő és munka nem változtatja meg a hőmérsékletet és a nyomást észrevehető mértékben. Ezért

$$dQ = TdS \quad dW = -pdV \quad (2.17)$$

A (2.16) egyenlet a következő alakra módosul:

$$dU = TdS - pdV + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.18)$$

Ez a fundamentális egyenlet a belső energiára vonatkozóan¹². A fundamentális egyenletet megadható a többi termodinamikai potenciálra is. Ezek a következő alakban írhatók fel:

$$dF = -SdT - pdV + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.19)$$

¹² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 158

$$dH(\equiv dI) = TdS + Vdp + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.20)$$

$$dG = -SdT + Vdp + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.21)$$

2.5 Gibbs-Duhem reláció

A szabad entalpia (2.5) egyenlettel adott alakjából és a (2.15) Euler-egyenletből következik:

$$G = \sum_{i=1}^j \mu_i n_i \quad (2.22)$$

azaz a Gibbs-potenciál a rendszerben lévő kémiai potenciálok összessége. A (2.22) egyenletet formálisan differenciálva a következőt kapjuk:

$$dG = \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i + \sum_{i=1}^j n_i d\mu_i \quad (2.23)$$

Ebből kivonva a (2.21) egyenletet kapjuk a *Gibbs-Duhem relációt*¹³:

$$\sum_{i=1}^j n_i d\mu_i = -SdT + Vdp \quad (2.24)$$

Ez a reláció kapcsolatot teremt a rendszer intenzív paramétereinek között. Egykomponensű rendszer esetén a Gibbs-Duhem reláció értelmében csak két független paraméter lehet; azaz a rendszer állapota jellemezhető csupán két paraméter segítségével (például nyomás és térfogat).

¹³ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 162-163

Kérdéstár:

1. Mekkora az entrópia változása 1 kg 0 °C-os jégnek, miközben vízzé olvad. ($L_{\text{víz}} = 332,5 \text{ kJ/kg}$)
2. Egy adott makroállapothoz tartozó mikroállapotok számát _____
_____ -nak/nek nevezzük.
3. Az _____ a valóságban előforduló rendszerek energia szempontú leírására törekszik.
4. A munka
 - a. energiatranszport-mennyiség
 - b. magától végbemegy
 - c. az energia egyik formája
 - d. impulzus átadást is jelent
 - e. megmarad
 - f. a hőmérséklet-különbség okozza
5. A hő
 - a. energiatranszport-mennyiség
 - b. magától végbemegy
 - c. az energia egyik formája
 - d. impulzus átadást is jelent
 - e. megmarad
 - f. a hőmérséklet inhomogenitása okozza
6. Az energia
 - a. nem megmaradó vektormennyiség
 - b. megmaradó vektormennyiség
 - c. nem megmaradó skalármennyiség
 - d. megmaradó skalármennyiség
 - e. hőmennyiség

7. A Helmholtz-féle szabad energia
 - a. a belső energia, a hőmérséklet és a nyomás függvénye
 - b. a belső energia, a térfogat és a nyomás függvénye
 - c. a belső energia, a hőmérséklet és az entrópia függvénye
 - d. a belső energia, a hőmérséklet és a térfogat függvénye
 - e. a belső energia, az entrópia és a nyomás függvénye

8. Az entalpia
 - a. a belső energia, a hőmérséklet és a nyomás függvénye
 - b. a belső energia, a térfogat és a nyomás függvénye
 - c. a belső energia, a hőmérséklet és az entrópia függvénye
 - d. a belső energia, a hőmérséklet és a térfogat függvénye
 - e. a belső energia, az entrópia és a nyomás függvénye

9. A második főtétel
 - a. a folyamatok energiamérlegét írja le
 - b. a folyamatok hőmérsékletét adja meg
 - c. a folyamatok irányát adja meg
 - d. a folyamatok munkáját adja meg
 - e. a folyamatok idejét adja meg

10. Az első főtétel
 - a. a folyamatok energiamérlegét írja le
 - b. a folyamatok hőmérsékletét adja meg
 - c. a folyamatok irányát adja meg
 - d. a folyamatok munkáját adja meg
 - e. a folyamatok idejét adja meg

3. Állapot, állapotjellemzés. Állapotváltozás, állapotváltoztatás

A vizsgált rendszerek mindig valamilyen *állapotban* vannak. Az állapotok egyértelmű leírásához *állapotjelzőket* használhatunk, melyek az egész rendszerre vonatkozó fizikai mennyiségek¹. Ezek a fizikai mennyiségek lehetnek *extenzív* (összeadódó) mennyiségek. Ilyen például a tömeg (m), a térfogat (V) vagy a belső energia (U). Lehetnek *intenzív* (kiegyenlítő) mennyiségek is. Ilyen például a nyomás (p), a sűrűség (ρ) vagy a termodinamikai hőmérséklet (T).

Az állapot jellemzése mindig adott szempont alapján történik. Ha például a rendszeren elektromos áram folyik keresztül, akkor figyelembe kell venni a rendszer elektromos ellenállását, mint állapotjelzőt, egyébként pedig nem is kell tudomást venni róla.

A rendszer állapotának teljes leírásához mindig annyi állapotjelzőt kell felhasználnunk, amennyi az adott vizsgálati szempont alapján még éppen szükséges az állapot egyértelmű meghatározásához.

A rendszerek állapota lehet időben változatlan (statikus) vagy időben változó (dinamikus). Az időben változatlan állapotot *egyensúlyi állapotnak* nevezzük. Az energodinamika törvényszerűségei az egyensúlyi állapotokra érvényesek. Egyensúlyi állapotra tudjuk felírni az állapotjelzők közötti összefüggéseket megadó *állapotegyenleteket* is. Emiatt sok esetben a változásokat is úgy képzeljük el, hogy kismértékben különböző egyensúlyi állapotok sorozatán keresztül valósulnak meg (kvázisztatikus leírás).

Az időben változó rendszerek viselkedése során *folyamatok* figyelhetők meg. A folyamatok különféle áramlások. Lehetnek tisztán anyagáramlások vagy tisztán energiaáramlások, de leggyakrabban anyag- és energiaáramlások együtt. A könnyebb leírás érdekében a folyamatot részfolyamatokra bonthatjuk, azonban a valóságban a részfolyamatok önmagukban nem játszódnak le, szorosan összefonódnak a többi részfolyamattal, azoktól nem elkülöníthetők.

Egyensúlyi állapot esetében meg lehet különböztetni *statikus* és *dinamikus* egyensúlyi állapotot. A statikus egyensúlyi állapot olyan rendszerre jellemző,

¹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 100-101

melyre nem hat a környezete, és az egyensúly magától beállt. Dinamikus egyensúly esetén a rendszerre időben állandó külső hatás időben állandó kimenetet eredményez. A rendszer egyensúlyban van, hiszen a rendszer állapotjelzői nem változnak, de ez az egyensúly csak addig tart, amíg a külső hatás fennáll. Sztatikus egyensúlyban lévő rendszerben nem játszódnak le folyamatok, míg dinamikus egyensúlyban lévő rendszerben több folyamat is lejátszódhat. Ilyenkor ezek a folyamatok (áramlások) időben állandóak.

A folyamatok hajtóereje az intenzív mennyiségek inhomogenitása. Ez rendszerint valamilyen (akár több) extenzív mennyiség változását is eredményezi. A környezetével kapcsolatban nem lévő (zárt) rendszerben a folyamatok addig tartanak, amíg a rendszeren belül minden intenzív mennyiség térben homogénné nem válik: beáll a sztatikus egyensúly. Dinamikus egyensúlyban lévő rendszerben egy vagy több intenzív mennyiség térben inhomogén marad.

Az állapotjelzők között vannak *konjugált* állapotjelzők. A konjugált állapotjelzők párosával definiálhatók: egy extenzív és egy intenzív mennyiség alkot konjugált állapotjelző párt. Az intenzív mennyiség tekinthető egy „általánosított erő”-nek, az extenzív mennyiség pedig egy „általánosított elmozdulás”-nak. Az „általánosított erő” okozza az „általánosított elmozdulás” változását, és a kettő szorzata energia dimenziójú. Ilyen konjugált állapotjelző pár például a nyomás – térfogat ($p - V$), vagy termodinamikai hőmérséklet – entrópia ($T - S$). Inhomogenitás a nyomásban (p) térfogatváltozást okozhat (dV); inhomogenitás a hőmérsékletben (T) entrópiaváltozást okozhat (dS). A fundamentális egyenletben (2.18 egyenlet) konjugált állapotjelzők szorzatai szerepelnek.

Kérdéstár:

1. Az _____ az egész rendszerre vonatkozó fizikai mennyiségek.
2. A részfolyamatok
 - a. anyagáramlások
 - b. energiaáramlások
 - c. anyag- és energiaáramlások
 - d. önmagukban lejátszódhatnak
 - e. önmagukban nem játszódhatnak le
 - f. részekből állnak
3. Extenzív mennyiség
 - a. inhomogén
 - b. összeadódik
 - c. kiegyenlítődik
 - d. dinamikus
 - e. statikus
4. Intenzív mennyiség
 - a. inhomogén
 - b. összeadódik
 - c. kiegyenlítődik
 - d. dinamikus
 - e. statikus
5. Konjugált állapotjelzők
 - a. szorzata mindig állandó
 - b. szorzata mindig munka jellegű
 - c. szorzata mindig hő jellegű
 - d. szorzata mindig energia dimenziójú
 - e. szorzata mindig változik

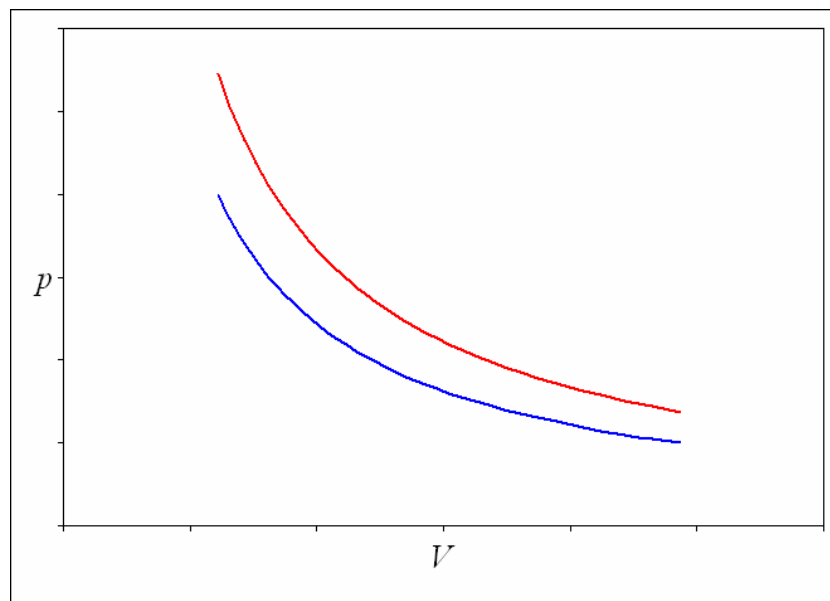
4. Jellegzetes állapotváltozások; leírásuk: p-V, T-S, H-S diagramokban

Energodinamikai rendszerek vizsgálata során elsősorban gáznemű halmazállapot esetén lényeges az állapotváltozásokat megkülönböztetni. Ezek az izotermikus, az izobár, az izochor, az adiabatikus és a politropikus állapotváltozások. A változások mindegyike egyszerű összefüggésekkel leírható és jól szemléltethető diagramokkal. Leggyakrabban a p-V és T-S diagramokat használják.

4.1 Izotermikus állapotváltozás

Ha a hőmérsékletet állandó értéken tartjuk, akkor adott mennyiségű gáz nyomása és térfogata egymással fordított arányban áll (1662, Boyle-Mariotte törvény)^{1,2}:

$$pV = \text{áll.} \quad (4.1)$$

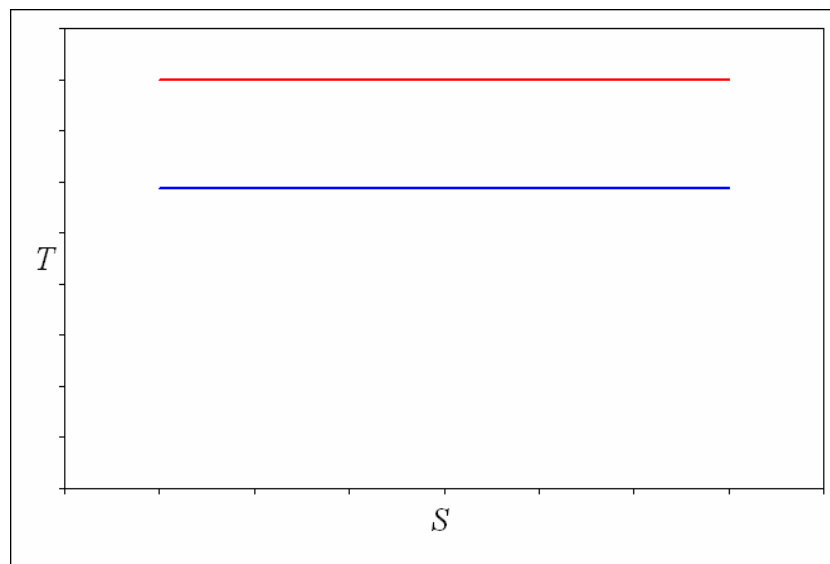


4.1. ábra: Izotermikus állapotváltozás p-V diagramja (kék: alacsonyabb hőmérséklet, piros: magasabb hőmérséklet). A görbe neve: izoterma

¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 244

² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 33

Az állapotváltozás a p-V diagramon egy hiperbola.



4.2. ábra: Izotermikus állapotváltozás T-S diagramja (kék: alacsonyabb hőmérséklet, piros: magasabb hőmérséklet)

4.2 Izobár állapotváltozás

Állandó nyomás mellett az elzárt gáz térfogata és a hőmérséklete egymással egyenesen arányos (1802, Gay-Lussac első törvénye)^{3,4}:

$$V = V_0(1 + \beta t) \quad (4.2)$$

ahol t a hőmérséklet (Celsius fokban), β a hőtágulási együttható, V_0 a gáz térfogata 0°C -on.. A mérések szerint

$$\beta = \frac{1}{273,15^\circ\text{C}}.$$

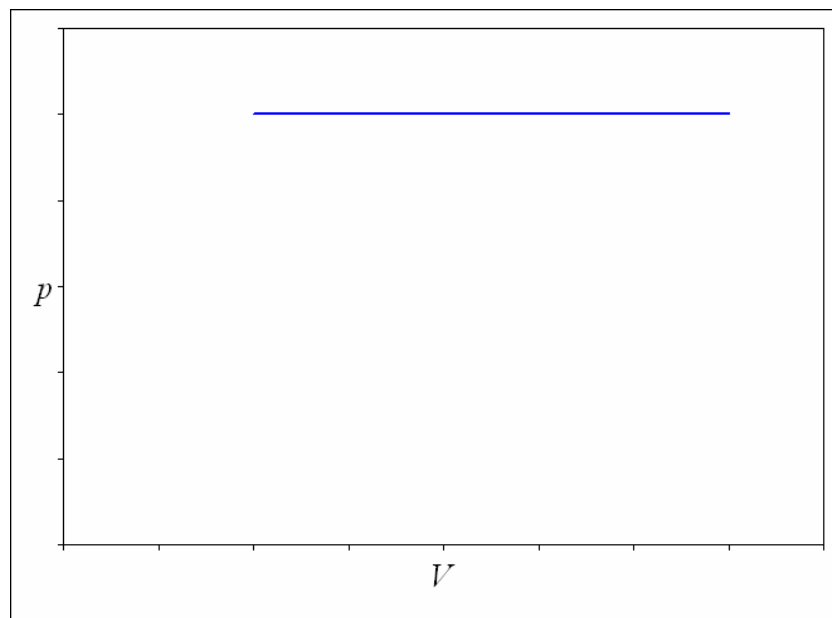
A 4.2 egyenlet a törvény eredeti megfogalmazása. A termodinamikai hőmérséklet segítségével Gay-Lussac első törvénye az alábbi formát ölti:

$$\frac{V}{T} = \text{áll.} \quad (4.3)$$

Az állapotváltozás a p-V diagramon egy vízszintes vonal:

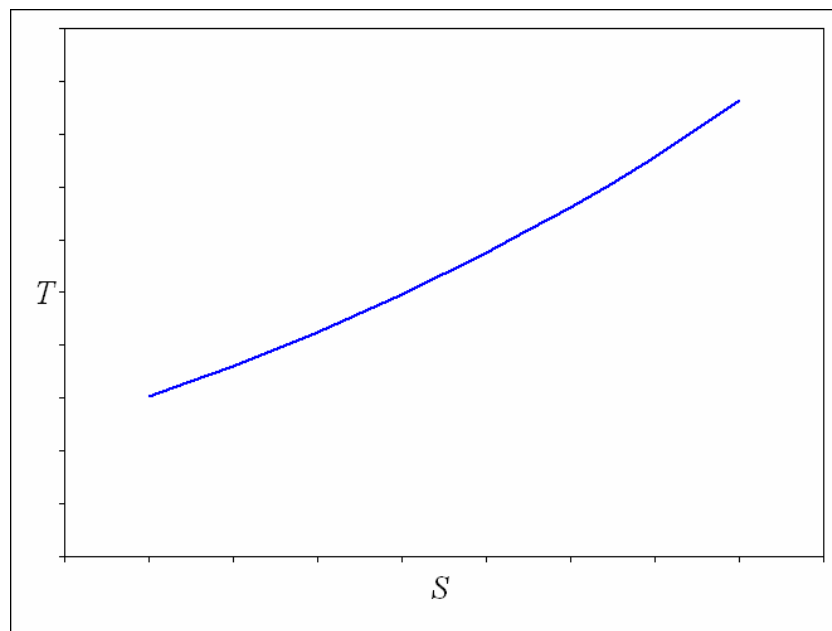
³ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 374

⁴ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 34



4.3. ábra: Izobár állapotváltozás p-V diagramja

Az állapotváltozás T-S diagramja egy exponenciális függvény:



4.4. ábra: Izobár állapotváltozás T-S diagramja

4.3 Izochor állapotváltozás

Állandó térfogat mellett a gáz nyomása és a hőmérséklete egymással egyenesen arányos (Gay-Lussac második törvénye)^{5,6}:

$$p = p_0(1 + \beta' t) \quad (4.4)$$

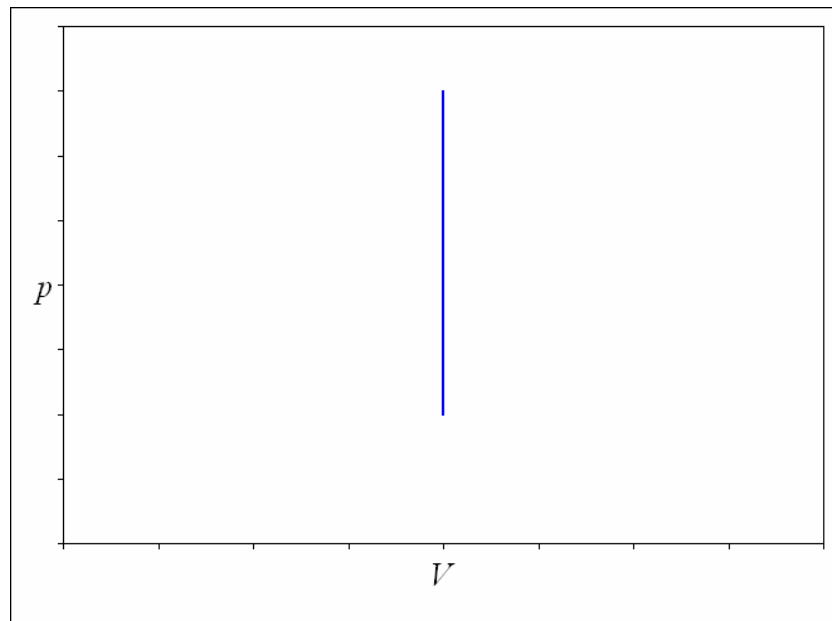
ahol t a hőmérséklet (Celsius fokban), β' a hőtágulási együttható, p_0 a gáz nyomása 0°C -on.. A mérések szerint

$$\beta' = \frac{1}{273,15^\circ\text{C}}.$$

A 4.4 egyenlet a törvény eredeti megfogalmazása. A termodinamikai hőmérséklet segítségével Gay-Lussac második törvényét az alábbi formában szokás megadni:

$$\frac{p}{T} = \text{áll.} \quad (4.5)$$

Az állapotváltozás a p - V diagramon egy függőleges vonal:

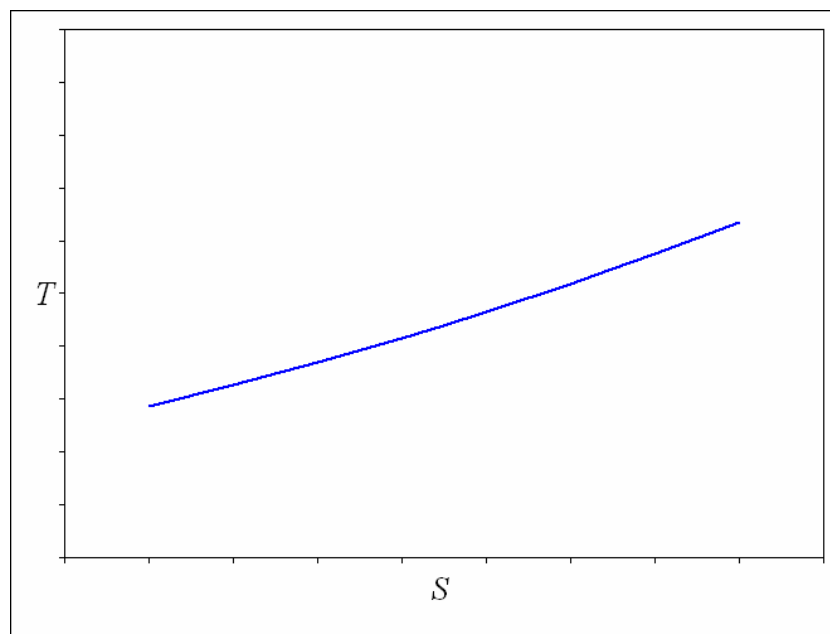


4.5. ábra: Izochor állapotváltozás p - V diagramja

⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönykiadó, Budapest, 1978, pp. 375

⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 34

Az állapotváltozás T-S diagramja egy exponenciális függvény, mely meredekebb, mint az izobár állapotváltozás görbéje (ha ugyanazt az elzárt gázmennyiséget vizsgáljuk):



4.6. ábra: Izochor állapotváltozás T-S diagramja

Gay-Lussac törvényein alapulnak a gázhőmérők. A leggyakrabban olyan gázhőmérőket használnak, ahol a térfogat állandó. Ezen gázhőmérők alapján vetődött fel az abszolút hőmérsékleti skála ötlete, amit Lord Kelvin (William Thomson) alkotott meg a Celsius-féle hőmérsékleti skálára alapozva (1848). Az abszolút vagy termodinamikai hőmérséklet nem lehet negatív. Nullpontja $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, és $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletváltozás megegyezik 1 K hőmérsékletváltozással.

Az izotermikus, az izobár és az izochor állapotváltozások törvényszerűségei a gázok három állapotjelzője között teremtenek kapcsolatot (p , V , T). A három törvény egyesítésével megkapható a gázok állapotegyenlete:

$$\frac{pV}{T} = \text{áll.} \quad (4.6)$$

Adott gázt vizsgálva a 4.6 egyenlet jobb oldalának értéke egyenesen arányos az elzárt gázmennyiség tömegével. Többféle anyagi minőségű gázt vizsgálva bizonyítható, hogy valójában az *anyagmennyiséggel* arányos.

Gázok állapotegyenletét (egyesített gáztörvényt) a következő alakban szokás megadni^{7,8}:

$$pV = nRT \quad (4.7)$$

ahol n a mólszám, R a moláris (vagy univerzális) gázállandó.

1 mól anyagmennyiség $6,02214179 \cdot 10^{23}$ darab részecske (ez az Avogadro-szám; jele N_A vagy A esetleg L). $R = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.⁹

Az állapotegyenlet további alakjai:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (4.8)$$

ahol m a gáz tömege és M a móltömege. Illetve:

$$pV = NkT \quad (4.9)$$

ahol N a gázcseppkék (molekulák) száma, k pedig a Boltzmann-állandó.

$k = 1,3806504 \cdot 10^{-23} \text{ J}/\text{K}$. Az összefüggések:

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (4.10)$$

$$R = N_A k \quad (4.11)$$

Az állapotegyenlet mindhárom alakját (4.7, 4.8 és 4.9 egyenletek) szokás használni. Adott feladattól függ, hogy éppen melyiket célszerű felírni.

Az állapotegyenlet ezen alakjai az *ideális gázokra* vonatkoznak: a molekulák között nincs vonzó- vagy taszítóerő, a molekulák ütközése tökéletesen rugalmas, és a molekulák térfogata elhanyagolható (pontoszerű) a teljes térfogathoz képest. Közöséges nyomáson és bizonyos hőmérséklet felett minden gáz ideális gáznak tekinthető.

Alacsonyabb hőmérséklet vagy nagyobb nyomásértékek esetén a gázok viselkedése más lesz. Figyelembe kell venni az egyes molekulák térfogatát, valamint azt, hogy a molekulák hatnak egymásra (az ütközésen kívül is). A *reális (valós) gázok* állapotegyenlete az úgynevezett *van der Waals-féle állapotegyenlet* (1873)^{10,11}:

⁷ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 377

⁸ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 31

⁹ <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html> a Nemzetközi Mértékügyi Hivatal ajánlásával (<http://www.bipm.org/extra/codata/>)

¹⁰ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 378

¹¹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 37

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT = \frac{m}{M} RT = NkT \quad (4.12)$$

ahol a és b az anyagi minőségre jellemző konstansok. Az a konstans a molekulák közötti vonzóerőt írja le, a b pedig a molekulák térfogatát. Néhány értéket bemutat a következő táblázat:

4.1 táblázat: gázok *van der Waals*-együtthatói

| gáz | a (Pa·m ⁶ /mol ²) | b (m ³ /mol) |
|----------------------------|--|---------------------------|
| hidrogén (H ₂) | 0,0248 | 2,663·10 ⁻⁵ |
| levegő | 0,1355 | 3,646·10 ⁻⁵ |
| oxigén (O ₂) | 0,1375 | 3,166·10 ⁻⁵ |
| vízgőz (H ₂ O) | 0,5450 | 3,001·10 ⁻⁵ |

Ideális gázok keverékére érvényes Dalton törvénye^{12,13} (1801), mely szerint a gázkeverék nyomása az egyes összetevők parciális nyomásainak összege. Az egyes összetevőkre külön-külön is érvényes az egyesített gáztörvény (mintha minden összetevő csak egymagában lenne ott).

4.4 Adiabtikus állapotváltozás

Adiabtikus az állapotváltozás akkor, ha a gáz a környezetével nem cserél hőt, azaz $Q = 0$. Ezt kétféleképpen lehet megvalósítani: vagy teljesen elszigeteljük a gázt a környezetétől (ez rendszerint nehézségekbe ütközik), vagy a folyamat olyan gyorsan játszódik le, hogy nincs idő a hőcserére. A folyamat teljes leírásához szükség van újabb fizikai mennyiségekre. Melegítsünk elzárt gázt először úgy, hogy a térfogat állandó marad. Ekkor az első főtétel (2.1 egyenlet) értelmében:

$$\Delta U = Q \quad (4.13)$$

Ha hőt közlünk anyaggal, akkor a befektetett hő és az elért hőmérsékletváltozás egymással egyenes arányban áll:

$$Q = C_V \Delta T \quad (4.14)$$

C_V az állandó térfogatra vonatkozó hőkapacitás. Tömegarányosan felírva:

¹² Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 419

¹³ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 35

$$Q = c_v m \Delta T \quad (4.15)$$

ahol c_v az állandó térfogatra vonatkozó fajlagos hőkapacitás (fajhő).

Most vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor a hőközlés állandó nyomáson történik (például szabadon, súrlódásmentesen mozgó dugattyú zárja el a gázt, és a dugattyú külső oldalán az állandónak tekinthető légköri nyomás van). Ekkor is egyenes arányosság van a befektetett hő és az elért hőmérsékletváltozás között:

$$Q = C_p \Delta T \quad (4.16)$$

C_p az állandó nyomásra vonatkozó hőkapacitás. Tömegarányosan felírva:

$$Q = c_p m \Delta T \quad (4.17)$$

ahol c_p az állandó nyomásra vonatkozó fajlagos hőkapacitás (fajhő). Az első főtétel alakja most:

$$\Delta U = Q + W \quad (4.18)$$

A W az a munka, amit a melegítés hatására táguló gáz végez, azaz a befektetett hő kell, hogy fedezze a belső energia változását és a gáz által végzett munkát is. Tehát $c_p > c_v$.

A gáz által végzett munka:

$$W = \int_1^2 p dV \quad (4.19)$$

Ha a nyomás állandó, akkor a képlet egyszerűsödik:

$$W = p \Delta V \quad (4.20)$$

A gázok állapotegyenlete (4.8 egyenlet) alapján:

$$W = \frac{m}{M} R \Delta T \quad (4.21)$$

A 4.13, 4.15, 4.17, 4.18 és 4.21 egyenletek alapján:

$$c_p m \Delta T = c_v m \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T \quad (4.22)$$

azaz:

$$c_p - c_v = \frac{R}{M} \quad (4.23)$$

A belső energia változása 4.13 és 4.15 egyenletek alapján:

$$\Delta U = c_v m \Delta T \quad (4.24)$$

A 4.24 egyenlet alapján a belső energia csak egy additív konstans erejéig meghatározott. Ezt választhatjuk nullának. Így:

$$U = c_v m T \quad (4.25)$$

Adiabatikus állapotváltozásnál az első főtétel differenciális alakja:

$$dU = dW \quad (4.26)$$

$$c_V m dT = -p dV \quad (4.27)$$

Ha a nyomást kifejezzük a 4.8 és 4.23 egyenletről, akkor az alábbi eredményt kapjuk:

$$c_V m dT + \frac{m(c_p - c_V)T}{V} dV = 0 \quad (4.28)$$

Ebből:

$$\frac{dT}{T} + \left(\frac{c_p}{c_V} - 1 \right) \frac{dV}{V} = 0 \quad (4.29)$$

Vezessük be a

$$\kappa = \frac{c_p}{c_V} \quad (4.30)$$

adiabatikus kitevőt (*fajhő-hányadost*). Ekkor az alábbi egyenlethez jutunk:

$$\frac{dT}{T} + (\kappa - 1) \frac{dV}{V} = 0 \quad (4.31)$$

A differenciálegyenlet megoldása:

$$TV^{\kappa-1} = \text{áll.} \quad (4.32)$$

Ha 4.8 egyenlet segítségével eljuthatunk a *Poisson-féle összefüggéshez*^{14,15}:

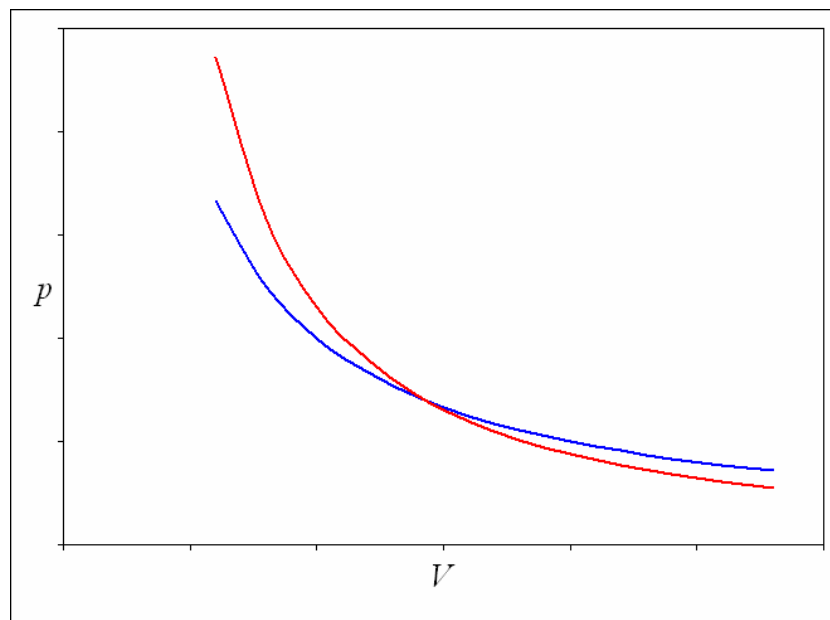
$$pV^\kappa = \text{áll.} \quad (4.33)$$

A 4.33 egyenletet szokás az adiabatikus folyamatok alapegyenletének tekinteni. A Poisson-féle összefüggés alapján az adiabatikus folyamat képe a p-V diagramon egy hiperbola, ami meredekebb, mint az izotermikus folyamat esetén. Szokás Poisson-féle összefüggésnek nevezni a 4.32 egyenletet is, illetve a 4.8 egyenlet segítségével kifejezhető harmadik alakot is:

$$\frac{T^\kappa}{p^{\kappa-1}} = \text{áll.} \quad (4.34)$$

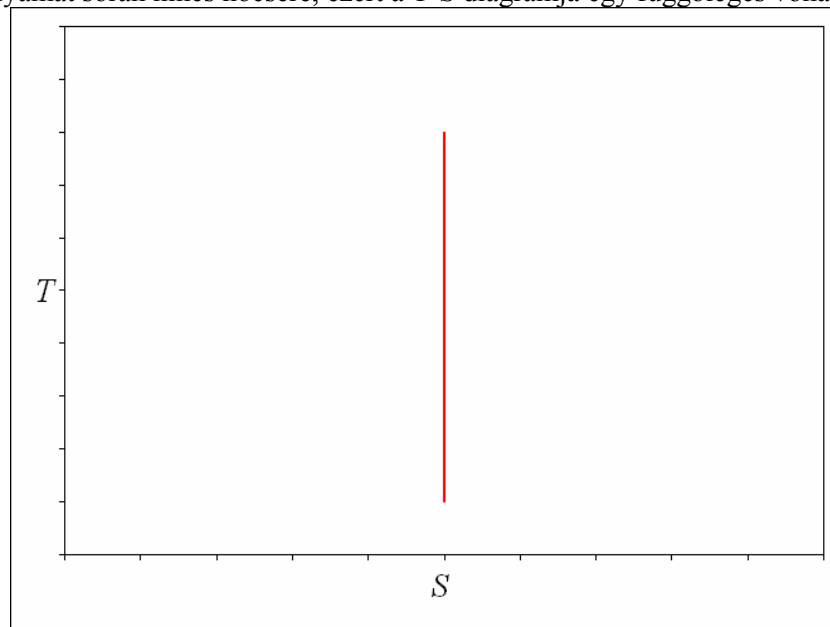
¹⁴ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 396-397

¹⁵ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 130-131



4.7. ábra: Adiabaticus állapotváltozás p - V diagramja (kék: izoterma, piros: adiabata)

A folyamat során nincs hőcsere, ezért a T - S diagramja egy függőleges vonal:



4.8. ábra: Adiabaticus állapotváltozás T - S diagramja

4.5 Politropikus állapotváltozás

Eddig áttekintettük az izotermikus, az izobár, az izochor és az adiabatikus állapotváltozásokat. Politropikus állapotváltozás minden eddig nem tárgyalt eset; leírásuk a Poisson-féle összefüggéshez hasonló:

$$pV^k = \text{áll.} \quad (4.35)$$

ahol k a politrop kitevő. Tágabb értelemben véve a politrop kitevő bármilyen értéket felvehet. Szűkebb értelemben a politropikus állapotváltozás az $1 < k < \kappa$ politrop kitevő által meghatározott kvázi-adiabatikus állapotváltozás.

4.2 táblázat: politrop kitevő értékei¹⁶

| állapotváltozás | k |
|-----------------------------------|------------------|
| robbanás | $k < 0$ |
| izobár | 0 |
| izotermikus | 1 |
| politropikus (szűkebb értelemben) | $1 < k < \kappa$ |
| adiabatikus | κ |
| izochor | ∞ |

A szűkebb értelemben vett politropa meredekebb, mint az izoterma, de nem olyan meredek, mint az adiabata (4.9 ábra). Az állapotváltozás T-S diagramja exponenciális, negatív kitevővel (4.10 ábra).

Politropikus állapotváltozás esetében a gáz által végzett munka a 4.19 és 4.34 egyenletek alapján:

$$W = \int_1^2 p dV = \int_1^2 \frac{\text{áll.}}{V^k} dV = \text{áll.} \cdot \frac{V_2^{1-k} - V_1^{1-k}}{1-k} \quad (4.36)$$

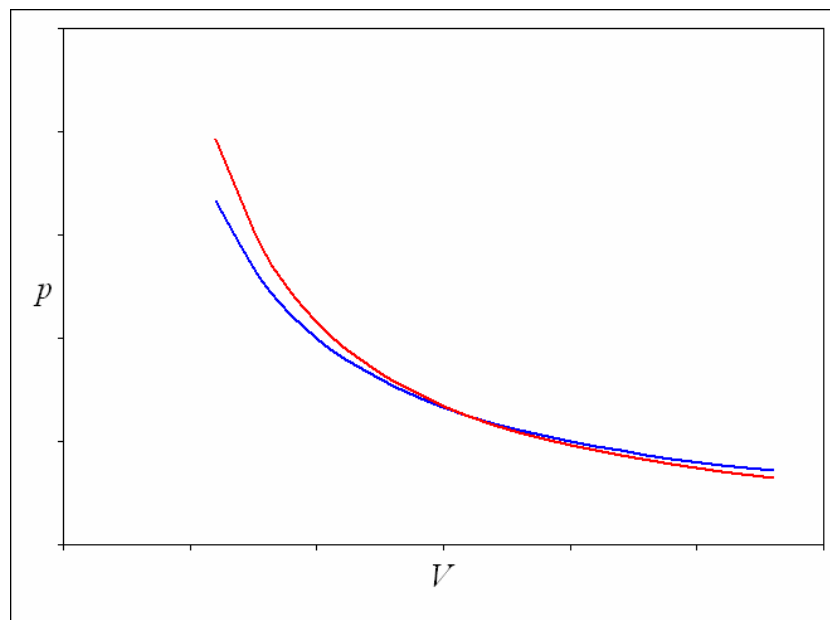
Az 4.36 egyenletben szereplő állandó értéke a 4.35 egyenlet alapján a kezdeti vagy a végállapot értékeivel is megadható:

$$pV^k = \text{áll.} = p_1V_1^k = p_2V_2^k \quad (4.37)$$

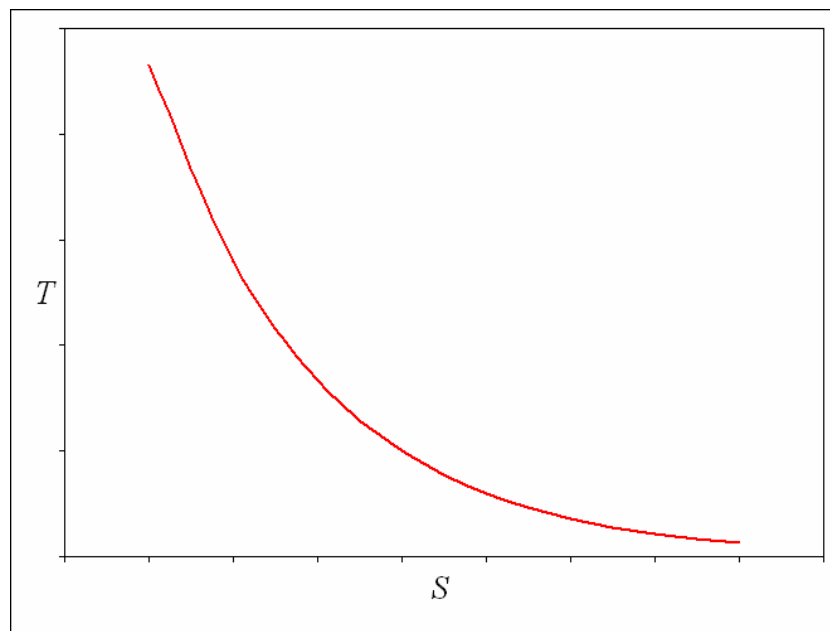
Így a végzett munka (4.8 és 4.23 segítségével):

$$W = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1-k} = \frac{1}{1-k} m(c_p - c_v)(T_2 - T_1) = \frac{\kappa - 1}{1-k} c_v m(T_2 - T_1) \quad (4.38)$$

¹⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 134



4.9. ábra: Politropikus állapotváltozás p - V diagramja (kék: izoterma, piros: politropa)



4.10. ábra: Politropikus állapotváltozás T - S diagramja

Az első főtétel alapján a hőcsere:

$$Q = \Delta U + W = c_V m(T_2 - T_1) + \frac{\kappa - 1}{1 - k} c_V m(T_2 - T_1) \quad (4.39)$$

$$Q = \frac{\kappa - k}{1 - k} c_V m(T_2 - T_1) \quad (4.40)$$

Az általános politrop fajlagos hőkapacitás:

$$c_{poli} = \frac{\kappa - k}{1 - k} c_V \quad (4.41)$$

Ez negatív értékű a szűkebb értelemben vett politropikus állapotváltozások esetében ($1 < k < \kappa$).

Az állapotváltozások ábrázolásához főleg a p-V és T-S diagramokat használják, az entalpia-entrópia diagram (H-S diagram vagy *Mollier diagram*) elsősorban a víz/vízgőz állapotváltozásainak követésére használatos, mely a villamosenergia termelés szempontjából kiemelt fontosságú. Ezen a diagram-típuson a munkavégzés és a hőátadás is egyenes szakaszokkal ábrázolható.

4.6 Fojtásos állapotváltozás

Ha a környezetétől jó hőszigeteléssel elzárt gázt lassan átáramoltatunk porózus anyagon (pl. vattacsomón) vagy szűk csövön (fojtószelepen) úgy, hogy a fojtás előtt a nyomás állandó p_1 utána pedig ennél kisebb, de állandó p_2 értékű, akkor a legtöbb gáz esetében lehűlést fogunk tapasztalni. Ez a *Joule-Thomson* hatás (1853)^{17,18}. Az effektus nem értelmezhető az ideális gázok modellje alapján.

Az eredeti Joule-Thomson kísérlet során (4.11. ábra) egy hőszigetelt csőben elhelyezett vattacsomón áramoltattak át lassan gázt. A nyomás a fojtás előtt és a fojtás után is állandó volt. Kezdetben az összes gáz a bal oldalon helyezkedett el (p_1, V_1, T_1), majd a teljes gázmennyiség át lett áramoltatva a jobb oldalra (p_2, V_2, T_2). A hőszigetelés miatt $Q = 0$.

A külső erők által végzett munka:

$$W_{\text{külső}} = p_1 V_1 - p_2 V_2 \quad (4.42)$$

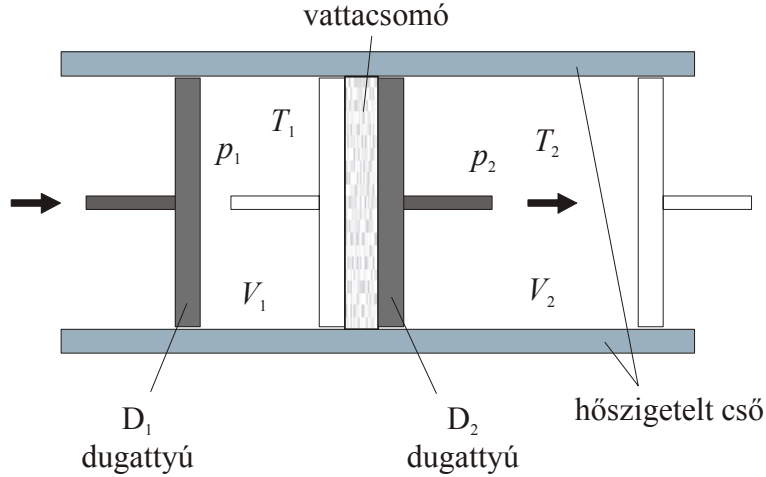
Ideális gáz esetében a Boyle-Mariotte törvény (4.1), az első főtétel (2.1) és a 4.25 egyenlet alapján:

$$U_1 = U_2 \Rightarrow T_1 = T_2 \quad (4.43)$$

Azaz nem lenne tapasztalható hőmérsékletváltozás.

¹⁷ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 393-394

¹⁸ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 207-208



4.11. ábra: A Joule-Thomson-féle kísérleti elrendezés

Valós gázok esetében $W_{\text{külső}} > 0$, valamint a táguló gáznak a molekulák között ható vonzóerő legyőzéséhez munkát ($W_{\text{belső}}$) kell végeznie a belső energia rovására. Ez a van der Waals-féle egyenletben (4.12) lévő nyomáskorrekció térfogat szerinti integráljával számítható ki:

$$W_{\text{belső}} = \int_{V_1}^{V_2} p_k dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{n^2 a}{V^2} dV = \frac{n^2 a}{V_2} - \frac{n^2 a}{V_1} < 0 \quad (4.44)$$

A két munka összegétől függ, hogy mi történik a gázzal. Ha $W_{\text{belső}} + W_{\text{külső}} = 0$, akkor a hőmérséklet nem változik. Ez az *inverziós hőmérséklet* (T_i). Az inverziós hőmérséklet alatti kezdő hőmérséklet esetében $W_{\text{belső}} + W_{\text{külső}} < 0$, azaz a gáz lehül. Az inverziós hőmérséklet feletti kezdő hőmérsékletnél $W_{\text{belső}} + W_{\text{külső}} > 0$, azaz a gáz felmelegszik. A van der Waals-féle egyenlet együtthatói segítségével:

$$T_i = \frac{2a}{bR} \quad (4.45)$$

A gyakorlatban a $\mu_j = \Delta T / \Delta p$ *Joule-Thomson együtthatót* többnyire mégis inkább méréssel szokás meghatározni. (A valós gázok tényleges viselkedése bonyolultabb, mint a van der Waals-féle egyenlet.) μ_j a tapasztalat szerint a folyamat kezdeti hőmérsékletén kívül függ még a gáz kezdeti nyomásától is.

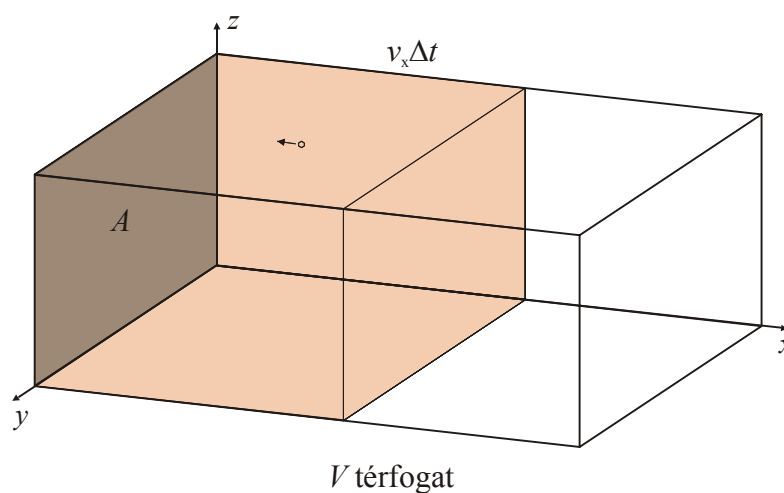
Normál nyomáson és szobahőmérsékleten a hélium ($T_{i,\text{max}} = 43$ K), a hidrogén ($T_{i,\text{max}} = 202$ K) és a neon ($T_{i,\text{max}} = 260$ K) felmelegszik fojtásos állapotváltozás (Joule-Thomson expanzió) során, a többi gáz lehül.

A fojtásos állapotváltozás során a gáz entalpiája állandó.

A Joule-Thomson hatás az alapja a hűtőgépek működésének és a gázok cseppfolyósításának.

4.7 Hőmérséklet molekuláris értelmezése, ideális gáz belső energiája

Vizsgáljuk most meg az ideális gázok viselkedését a molekuláris szemlélet alapján. Az egyszerűség kedvéért tételezzünk fel egy V térfogatú, téglatest alakú tartályt, melyben gáz van (4.12 ábra). Számítsuk ki a gáz nyomását az A felületre^{19,20}.



4.12. ábra: Segédlet a nyomás kiszámításához a molekuláris szemlélet alapján

A 4.12 ábra alapján, ha a molekulák átlagos x tengely irányú sebessége v_x , akkor az A felületet egy megadott Δt idő alatt az árnyékolt térrészben lévő molekulák érhetik csak el. Ha egy molekula tömege μ , akkor az A felülettel való tökéletesen rugalmas ütközés hatására a molekula impulzusa $2\mu v_x$ mértékben változik meg. A nyomás az egységnyi felületre ható nyomóerő (erő/felület). A nyomóerő Newton második axiómája alapján az időegység alatt bekövetkező impulzusváltozással egyenlő (impulzusváltozás/idő). Az árnyékolt térrészben lévő molekulák száma az összes molekulaszám térfogatarányos része. Az itt lévő molekulák felénél az x

¹⁹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 417-418

²⁰ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 86-88

tengely irányú átlagos sebesség az A felület irányába mutat, a másik felénél pedig ellenkező irányba. Így a nyomás:

$$p = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\mu v_x}{\Delta t} \cdot \frac{v_x \Delta t}{V} N \quad (4.46)$$

Ebből:

$$pV = \mu v_x^2 N \quad (4.47)$$

Ha ezt összevetjük a 4.9 egyenlettel, akkor az alábbi eredményt kapjuk:

$$\mu v_x^2 = kT \quad (4.48)$$

Egy molekula x tengely irányába eső mozgáskomponensének átlagos energiája:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} \mu v_x^2 \quad (4.49)$$

Ekkor kapjuk:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} kT \quad (4.50)$$

Ez az eredmény kapcsolatot mutat a molekulák kicsiny energiái és egy makroszkópicusan mérhető érték (hőmérséklet) között. A molekulák esetében ugyanezt az eredményt kaptuk volna akkor is, ha az y vagy z irányú mozgást vesszük alapul. Ez három *egymástól független* mozgáskomponens, azaz három *szabadsági fok*. A 4.50 egyenlet általánosan is igaz: egy molekula egy szabadsági fokára átlagosan és időátlagban $\frac{1}{2} kT$ energia jut. Ez az ekvipartíció tétele^{21,22} (Boltzmann és Maxwell, 1860).

Az ekvipartíció tétele segítségével is ki lehet számítani az ideális gázok belső energiáját^{23,24}. Egyatomos molekula esetében csak a molekula mozgásával kell számolni; ez három szabadsági fok. Kéttatomos molekula esetében a súlyzóhoz hasonlító elrendezésnek forgási szabadsági foka is van, mégpedig két, egymástól független forgástengelyre nézve is; így a szabadsági fokok száma már öt. (Nagyon magas hőmérsékletek esetében már a molekulán belüli rezgést is számításba kell venni, ami első közelítésben egy lineáris oszcillátor, két szabadsági fokkal.) Három- vagy többatomos molekula lehet lineáris elrendezésű (például a szén-dioxid, CO_2) vagy nem lineáris (például a víz, H_2O). Ha a molekula lineáris, akkor öt szabadsági fokkal rendelkezik közönséges hőmér-

²¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönykiadó, Budapest, 1978, pp. 422-423

²² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 88-91

²³ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönykiadó, Budapest, 1978, pp. 423-425

²⁴ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 91-92

sékleteken, ha nem lineáris, akkor a forgás is három egymástól független tengelyre vonatkozhat, így a szabadsági fokok száma hat. Általánosan, ha a molekula f szabadsági fokkal rendelkezik, akkor a gáz belső energiája:

$$U = \frac{f}{2} NkT = \frac{f}{2} nRT = \frac{f}{2} \frac{m}{M} RT \quad (4.51)$$

A 4.13-4.24 egyenletek segítségével a molekuláris szemlélet szerint is kifejezhetjük a 4.51 egyenletből a fajlagos hőkapacitásokat:

$$c_v = \frac{f}{2} \frac{R}{M} \quad (4.52)$$

$$c_p = \frac{f+2}{2} \frac{R}{M} \quad (4.53)$$

Így az adiabatikus kitevő:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{f+2}{f} \quad (4.54)$$

a szabadsági fokok ismeretében egyszerűen számítható, vagy a két fajlagos hőkapacitás ismeretében lehet következtetni a molekulák szabadsági fokainak számára.

Az ekvipartíció tétele jól alkalmazható szilárd testekre is^{25,26}. Szilárd testekben a molekulák rezgéseket végezhetnek a tér három irányába, egymástól függetlenül. Ez három lineáris oszcillátor, két-két szabadsági fokkal, tehát a szabadsági fokok száma összesen hat. Szilárd testek fajhőjét a 4.52 egyenlet jól írja le.

²⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 423-425

²⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 91

Kérdéstár:

1. Kerékpárpumpa végét befogjuk, majd a benne lévő levegőt hirtelen az eredeti térfogat $\frac{1}{4}$ -ére összenyomjuk. Mennyi lesz az eredetileg $20\text{ }^\circ\text{C}$ -os levegő hőmérséklete?
2. Mennyi hőt kell közölni 1 kg hélium gázzal (^4He), hogy a hőmérséklete $10\text{ }^\circ\text{C}$ -kal emelkedjen?
3. Fojtásos állapotváltozás során a/az _____ állandó marad.
4. Az ekvipartíció tétele leírja a kapcsolatot _____ és a hőmérséklet között.
5. Az entalpia-entrópia diagram másik neve _____-diagram.
6. Izotermikus állapotváltozás során
 - a. a nyomás változik
 - b. a térfogat változik
 - c. a hőmérséklet változik
 - d. az entrópia állandó
 - e. a belső energia állandó
 - f. a hőmérséklet állandó
7. Adiabatus állapotváltozás során
 - a. a nyomás változik
 - b. a térfogat változik
 - c. a hőmérséklet változik
 - d. az entrópia állandó
 - e. a belső energia állandó
 - f. a hőmérséklet állandó

8. Izobár állapotváltozás során
 - a. a nyomás változik
 - b. a térfogat változik
 - c. a hőmérséklet változik
 - d. az entrópia állandó
 - e. a belső energia állandó
 - f. a hőmérséklet állandó

9. Gay-Lussac első törvénye
 - a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
 - e. a politropikus állapotváltozást írja le

10. Gay-Lussac második törvénye
 - a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
 - e. a politropikus állapotváltozást írja le

11. Boyle-Mariotte törvénye
 - a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
 - e. a politropikus állapotváltozást írja le

12. A Poisson-féle összefüggés

- a. az izobár állapotváltozást írja le
- b. az izochor állapotváltozást írja le
- c. az izotermikus állapotváltozást írja le
- d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
- e. a politropikus állapotváltozást írja le

13. Az adiabata

- a. nagyobb meredekségű, mint az izoterma
- b. kisebb meredekségű, mint az izoterma
- c. egyenlő meredekségű az izotermával
- d. kisebb meredekségű, mint a politropa
- e. egyenlő meredekségű a politropával

14. Az izoterma

- a. az izotermikus állapotváltozás képe a p-V diagramon
- b. az izotermikus állapotváltozás képe a T-S diagramon
- c. az izotermikus állapotváltozás képe a H-S diagramon
- d. egyenes
- e. exponenciális görbe

15. A van der Waals-féle állapotegyenlet

- a. nem veszi figyelembe a molekulák méretét
- b. figyelembe veszi a molekulák közötti vonzóerőt
- c. nem veszi figyelembe a hőmérsékletet
- d. figyelembe veszi a belső energiát
- e. figyelembe veszi az entrópiát

5. Elméleti és valóságos körfolyamatok. Értékelési módok

Amikor állapotváltozások sorozatán keresztül ugyanabba az állapotba jut vissza a gáz, körfolyamat játszódik le. Reverzibilis a körfolyamat akkor, ha a környezet maradandó megváltozása nélkül tér vissza a gáz a kiindulási állapotába. Ennek szükséges és elégséges feltétele, hogy az egyes folyamatok kvázisztatikus (egyensúlyi) folyamatok legyenek.

Egy valóságos körfolyamat sohasem reverzibilis, de igen jól megközelítheti azt, ha a körfolyamat egyes állapotváltozásai megfelelően lassan következnek be.

A reverzibilis körfolyamatok az elméleti körfolyamatok. Jól tárgyalhatók matematikailag, és felső közelítést adnak a valóságos körfolyamatok hatásfokára vonatkozóan. (Sok esetben a valóságos körfolyamatok igen jól megközelítik az elméleti körfolyamatokat.) Valóságos körfolyamat vizsgálatánál nagyon sok tényezőt kellene figyelembe venni, emiatt a legtöbb tankönyv csak az elméleti körfolyamatokat tárgyalja.

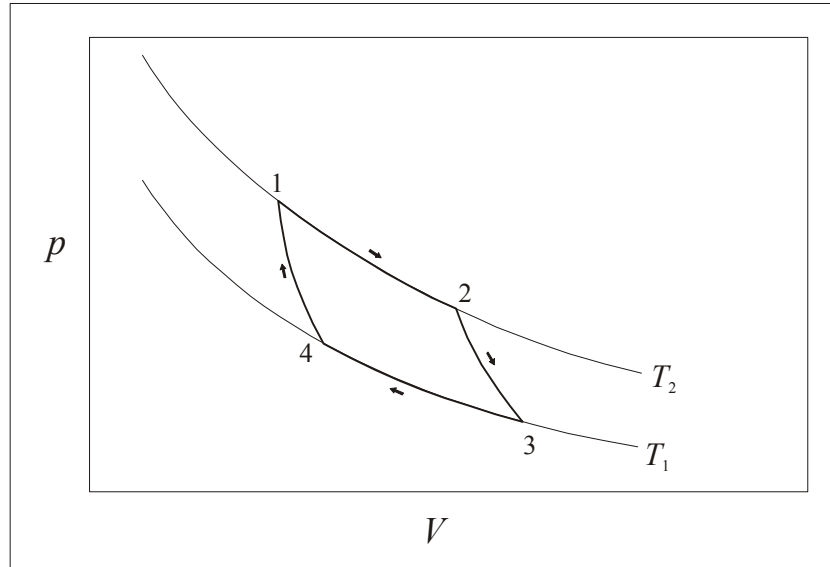
A körfolyamatokat megvalósító gépek a hőerőgépek: hő felvételével munkát végeznek (és le is adnak hőt). Ezt a működést szokás direkt (egyenes) körfolyamatnak vagy ciklusnak nevezni. A körfolyamatok egy része visszafelé is működtethető. Az ilyen gépek a hőszivattyúk vagy hűtőgépek: a környezetük végez munkát a gázon, a gáz hőt vesz fel és máshol (több) hőt lead. Ez a működés az indirekt (fordított) körfolyamat vagy ciklus.

5.1. Elméleti Carnot-féle körfolyamat

A 18-19. században szerették volna a hőerőgépek hatásfokát minél jobban növelni. Az első ilyen jellegű vizsgálatokat *Sadi Carnot* végezte (1824)^{1,2}. Egy dugattyús hengerbe elzárt m tömegű ideális gázzal két izotermikus és két adiabatikus állapotváltozásból álló körfolyamatot végzünk. Minden körülmény ideális: nincs súrlódás, nincs a berendezés alkatrészeiben hőveszteség, a folyamatok kvázisztatikus (reverzibilis) módon zajlanak le.

¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 398-401

² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 135-139



5.1. ábra: Carnot-féle körfolyamat p-V diagramja

Az 1-2 szakasz az izotermikus expanzió (tágulás) szakasza. A hengerbe zárt gáz kapcsolatba kerül egy T_2 hőmérsékletű hőtartállyal, és az onnan felvett hő segítségével tágul, s közben munkát végez. A hőtartály olyan – a vizsgált rendszerhez képest – nagy hőkapacitású eszköz vagy anyag, melynek a hőmérséklete nem változik meg észlelhető módon annak a hatására, hogy a vizsgált rendszernek hőt ad le vagy onnan hőt vesz fel.

A 2-3 szakasz az adiabatikus expanzió szakasza. A hengerbe zárt gázt elszigeteljük a környezetétől, és hagyjuk, hogy adiabatikusan kitáguljon, s közben lehűljön T_1 hőmérsékletre.

A 3-4 szakasz az izotermikus kompresszió (összenyomás) szakasza. A gáz kapcsolatba kerül egy T_1 hőmérsékletű hőtartállyal, s miközben az összenyomás érdekében munkát végünk rajta, hőt ad le a hőtartálynak.

A 4-1 szakasz az adiabatikus kompresszió szakasza. A gázt elszigeteljük a környezetétől, és összenyomjuk úgy, hogy a hőmérséklete ismét T_2 legyen. Majd az egész körfolyamat újraindul.

Az 1-2 szakaszra az első főtétel (2.1 egyenlet) és a 4.25 egyenlet alapján:

$$0 = Q_{\text{fel}} + W_{1-2} \quad (5.1)$$

A gáz által végzett munkát kiszámítható a 2.17 és 4.7 egyenletek segítségével:

$$W_{1-2} = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_2}{V} dV = -nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5.2)$$

A felvett hő tehát:

$$Q_{\text{fel}} = nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5.2)$$

A 3-4 szakaszra hasonlóképpen kiszámítható a leadott hő:

$$Q_{\text{le}} = nRT_1 \ln \frac{V_4}{V_3} < 0 \quad (5.3)$$

Az adiabatikus szakaszokra $Q = 0$. A 2-3 és 4-1 szakaszokra:

$$\Delta U_{2-3} = c_V m (T_1 - T_2) = W_{2-3} \quad \text{és} \quad \Delta U_{4-1} = c_V m (T_2 - T_1) = W_{4-1} \quad (5.4)$$

A körfolyamatra történő összegzés során W_{2-3} és W_{4-1} együttesen 0-t eredményez. A teljes körfolyamat során a gáz Q_{fel} hőt vesz fel a T_2 hőmérsékletű hőtartálytól és $|Q_{\text{le}}|$ hőt ad le a T_1 hőmérsékletű hőtartálynak. Az első főtétel értelmében a kettő különbsége a gáz által összesen végzett munka (hasznos munka).

$$W = Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}| \quad (5.5)$$

A hatásfok a hasznos munka és a befektetett hő (felvett hő) hányadosa:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}|}{Q_{\text{fel}}} \quad (5.6)$$

A 4.32 egyenlet alapján az adiabatikus szakaszokon:

$$T_2 V_2^{\kappa-1} = T_1 V_3^{\kappa-1} \quad \text{és} \quad T_1 V_4^{\kappa-1} = T_2 V_1^{\kappa-1} \quad (5.7)$$

Ebből:

$$\frac{V_3^{\kappa-1}}{V_2^{\kappa-1}} = \frac{V_4^{\kappa-1}}{V_1^{\kappa-1}} \quad \text{azaz} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (5.7)$$

Az 5.2 és 5.3 egyenletek segítségével:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}|}{Q_{\text{fel}}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (5.8)$$

A (reverzibilis) Carnot körfolyamat hatásfoka általánosan megfogalmazva:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{alacsony}}}{T_{\text{magas}}} \quad (5.9)$$

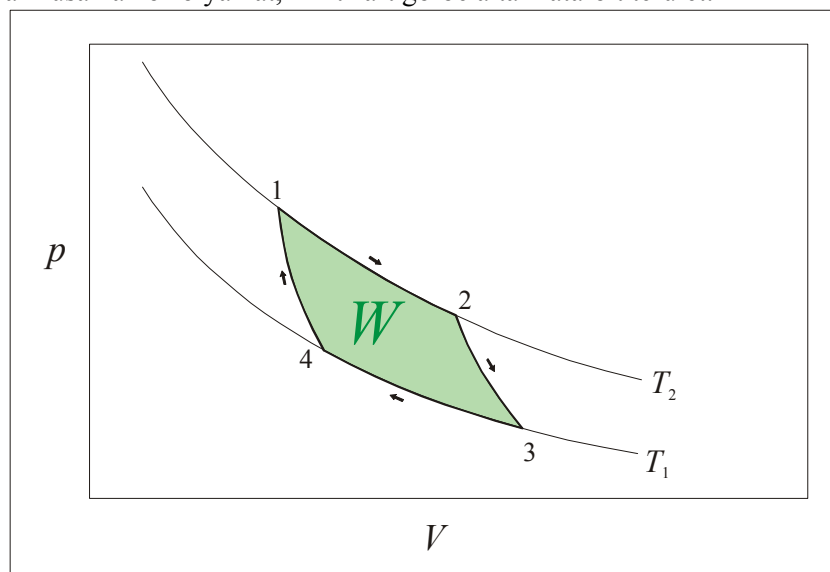
A hatásfok nem függ az anyagi minőségtől.

A második főtétel alapján kimutatható, hogy az 5.9 egyenlettel megadott hatásfok felső határ bármely ciklikusan működő hőerőgép hatásfokára nézve³, ezért van a Carnot-féle körfolyamatnak különösen nagy jelentősége.

A körfolyamatból kinyerhető hasznos munka matematikailag megkapható az alábbi kifejezéssel:

$$W = \oint_{\text{körfolyamat}} p dV \quad (5.10)$$

Ez grafikusan a körfolyamat, mint zárt görbe által határolt terület.

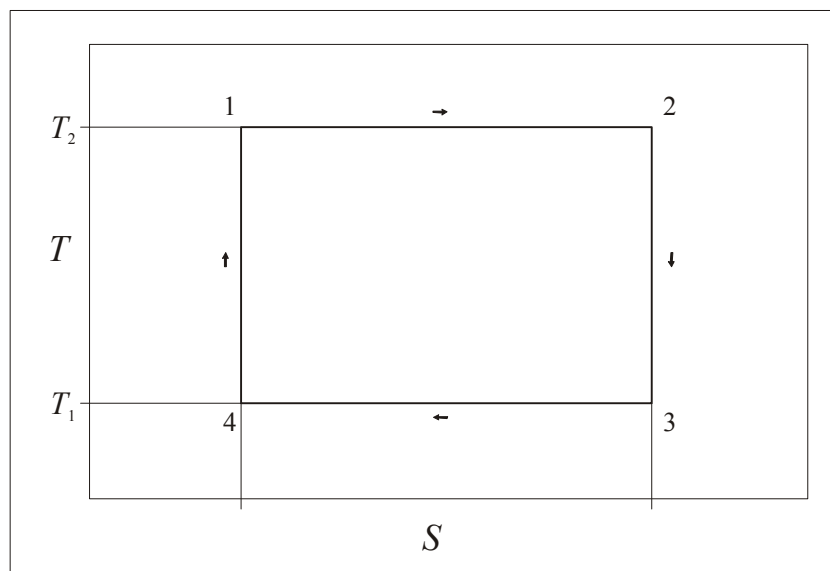


5.2. ábra: Carnot körfolyamatból kinyerhető hasznos munka

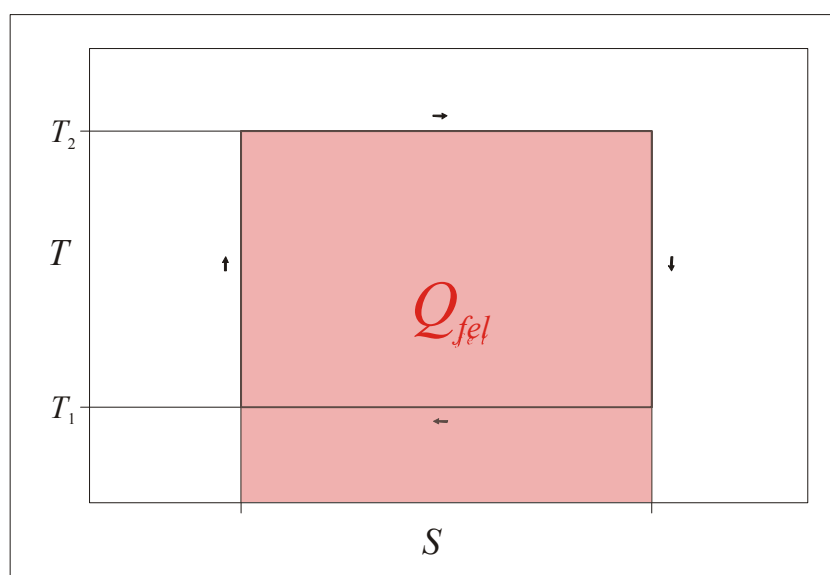
A Carnot körfolyamat tárgyalása sokkal látványosabb a T-S diagram alapján. Két folyamata izoterm, vagyis a képük két vízszintes vonal; két folyamata adiabatikus ($Q = 0 \rightarrow \Delta S = 0$), vagyis képük két függőleges vonal. A teljes körfolyamat a T-S diagramon egy téglalap (5.3. ábra). A körfolyamat során a gáz által végzett hasznos munka e téglalap területe (5.4-6. ábrák).

Ha a körfolyamat az ellenkező irányban zajlik le (indirekt vagy fordított körfolyamat), akkor W az a munka lesz, amit a közegen a külső erők végeznek. Ennek hatására $|Q_{\text{le}}|$ hőt vesz fel az alacsonyabb hőmérsékletű hőtartálytól és Q_{fel} hőt ad le a magasabb hőmérsékletű hőtartálynak.

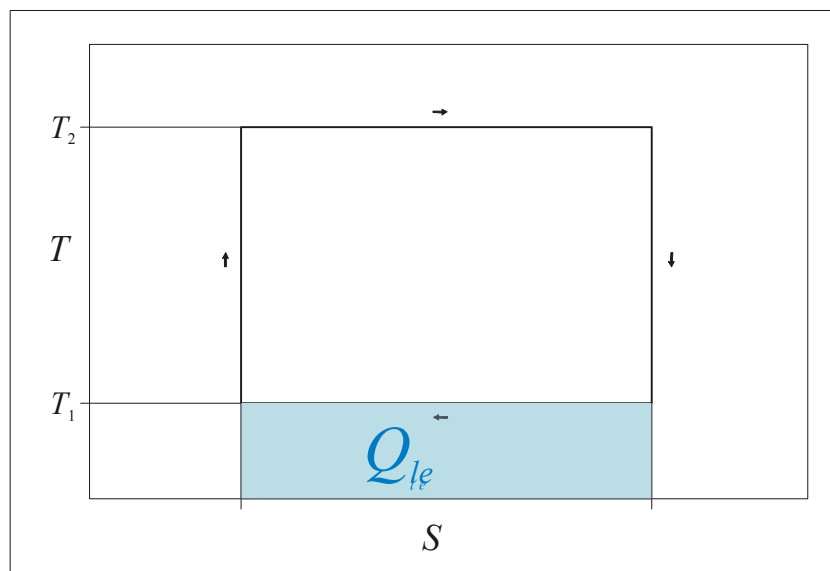
³ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 405



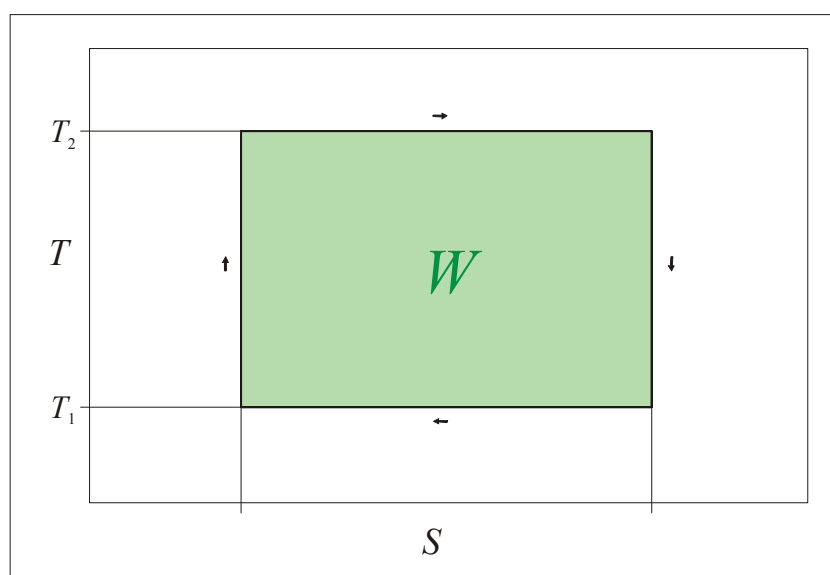
5.3. ábra: Carnot-féle körfolyamat T-S diagramja



5.4. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a felvett hőmennyiség



5.5. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a leadott hőmennyiség



5.6. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a hasznos munka

A fordított Carnot körfolyamatot alkalmazó hőszivattyú vagy hűtőgép *jósági tényezője* (ε) az átvitt „hasznos” hőmennyiség és az átvitelhez szükséges befektetett munka hányadosa⁴.

A hőszivattyú a hideg külső környezetből visz át hőt a belső zárt térbe (fűtés), ezért a jósági tényezője:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{fel}}}{W} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{T_{\text{magas}}}{T_{\text{magas}} - T_{\text{alacsony}}} \quad (5.11)$$

A hűtőgép zárt belső térből visz át hőt a külső környezetnek, ezért a jósági tényezője:

$$\varepsilon = \frac{|Q_{\text{le}}|}{W} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_{\text{alacsony}}}{T_{\text{magas}} - T_{\text{alacsony}}} \quad (5.12)$$

5.2 Elméleti Brayton-Joule körfolyamat

A körfolyamatot *George Brayton* mérnök dolgozta ki (1872). A körfolyamatot megvalósító eszközök a gázturbinák, melyeket főleg gázturbinás erőművekben illetve repülőgépmotorokban használnak^{5,6}. A fő részei az 5.7 ábrán láthatóak. A kompresszor összesűríti és az égéstérbe juttatja a levegőt. Az égéstérbe juttatják az üzemanyagot is, majd a levegővel elégetik. A forró égéstermékek a turbinán keresztül hagyják el a berendezést, miközben a turbina tengelyét forgásba hozzák, s így mechanikai munkát végeznek. A működés szigorúan véve nem körfolyamat, hiszen a levegő egyfolytában átáramlik a rendszeren és nem tér vissza. De mivel a kompresszor előtt és a turbina után az állapotok nem változnak működés közben, ezért a számítások során tekinthetjük zárt körfolyamatnak. A körfolyamat két izobár és két adiabatikus folyamatból áll. Az izobár folyamatok során az entalpiával kell számolni. Az entalpia a 4.25 egyenlet mintájára felírható az alábbi alakban:

$$H = c_p m T \quad (5.13)$$

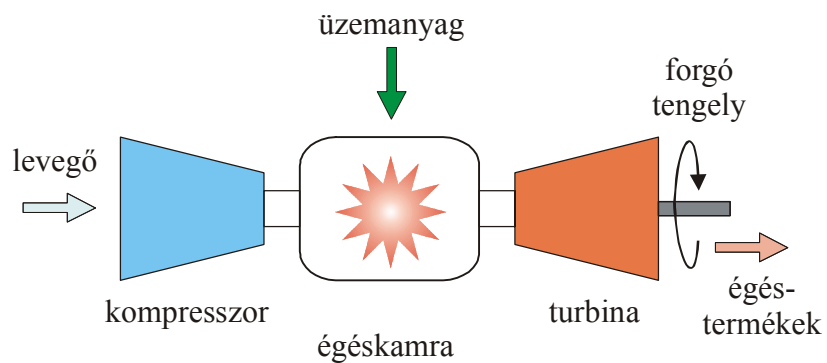
A kompresszor adiabatikus módon összenyomja a levegőt (5.8-10 ábra; 1-2 szakasz). Ezt követően az égéstérben állandó nyomáson az üzemanyag és levegő keveréke elég (hőfelvétel: 5.8-10 ábra; 2-3 szakasz). A forró gázok adiabatikusan kitérülve lehűlnek, miközben munkát végeznek (5.8-10 ábra; 3-4 szakasz).

⁴ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 400-401

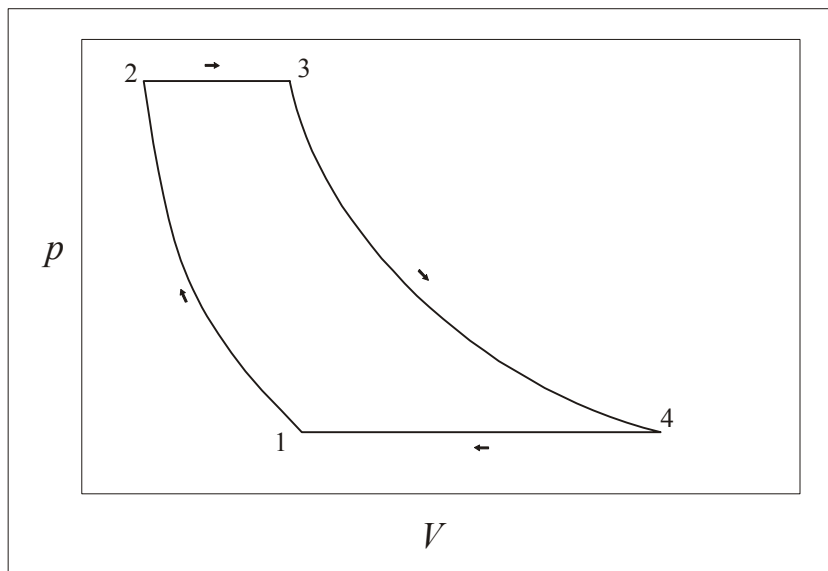
⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 477-478

⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 226-227

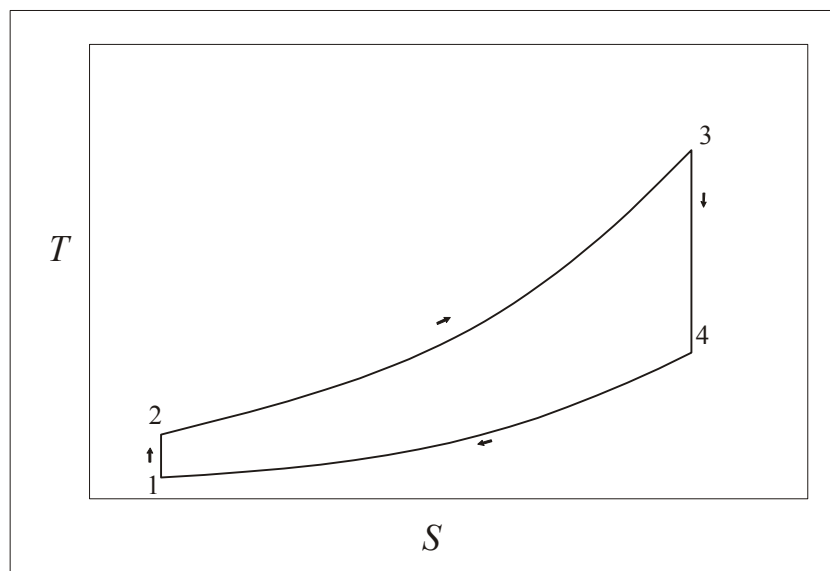
A turbinából kilépve állandó nyomáson leadják a felesleges hőt a környezetnek (5.8-10 ábra; 4-1 szakasz).



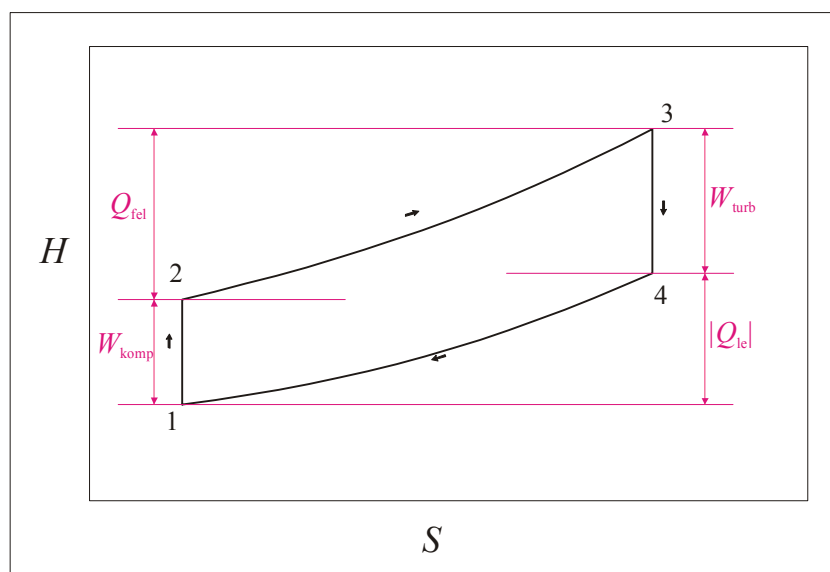
5.7. ábra: Gázturbina elvi felépítése



5.8. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) p-V diagramja



5.9. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) T-S diagramja



5.10. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) H-S diagramja

A H-S diagram segítségével összehasonlítható a kompresszor és a turbina munkája, valamint a felvett és leadott hő.

A hatásfok az 5.8 egyenlet alapján számítható:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}|}{Q_{\text{fel}}} \quad (5.14)$$

A hő felvétele és leadása is állandó nyomáson történik, tehát az entalpia segítségével felírható:

$$Q_{\text{fel}} = H_3 - H_2 = c_p m (T_3 - T_2) \quad (5.15)$$

$$|Q_{\text{le}}| = H_4 - H_1 = c_p m (T_4 - T_1) \quad (5.16)$$

Így a hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{H_4 - H_1}{H_3 - H_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (5.17)$$

A 4.34 egyenlet alapján belátható, hogy a hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{p_1^{(\kappa-1)/\kappa}}{p_2^{(\kappa-1)/\kappa}} \quad (5.18)$$

A gázturbina hatásfoka a nyomásviszony növelésével javítható.

A fordított Brayton-Joule körfolyamat (Bell-Coleman körfolyamat) sugárhajtású repülőgépeken használatos légkondicionálásra.

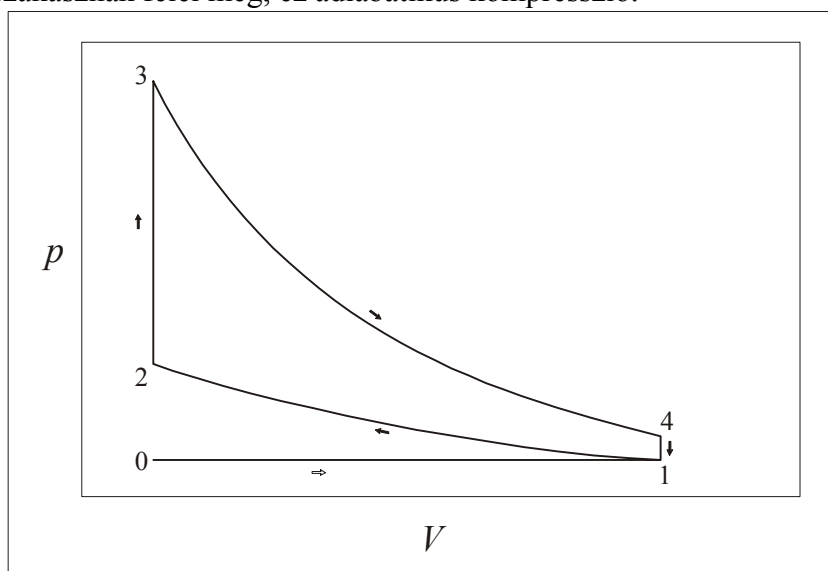
5.3 Otto körfolyamat

Az Otto körfolyamat a benzinüzemű belsőégésű motorok működését írja le^{7,8} (*Nikolaus August Otto*, 1867). A motor működése négy ütemre bontható. Az első ütem a szívás: a dugattyú a hengerben lefelé mozog, s közben egy nyitott szelepen át levegő-üzemanyag keverék vagy a modernebb típusoknál csak levegő áramlik a hengertérbe. A második ütemnél a dugattyú felfelé mozog, sűríti a levegőt, és minden szelep zárva van. A harmadik ütem kezdetén a sűrített levegő-üzemanyag keveréket meggyújtja egy elektromos szikra (a modern motoroknál a szikra előtt fecskendezik be az égéstérbe az üzemanyagot). A gyors égéssel felhevített gáz nyomása megnő, majd elkezd a dugattyút lefelé mozgatni. A negyedik ütemben a dugattyú felfelé mozog, a kipufogószelep nyitva van, s az égéstermékek távoznak a hengerből. A körfolyamat friss gázkeverékkel újraindul. Az idealizált folyamat két adiabatikus és két izochor folyamatból áll. A körfolyamat p-V diagramja az 5.11 ábrán látható. Az első ütemnek a

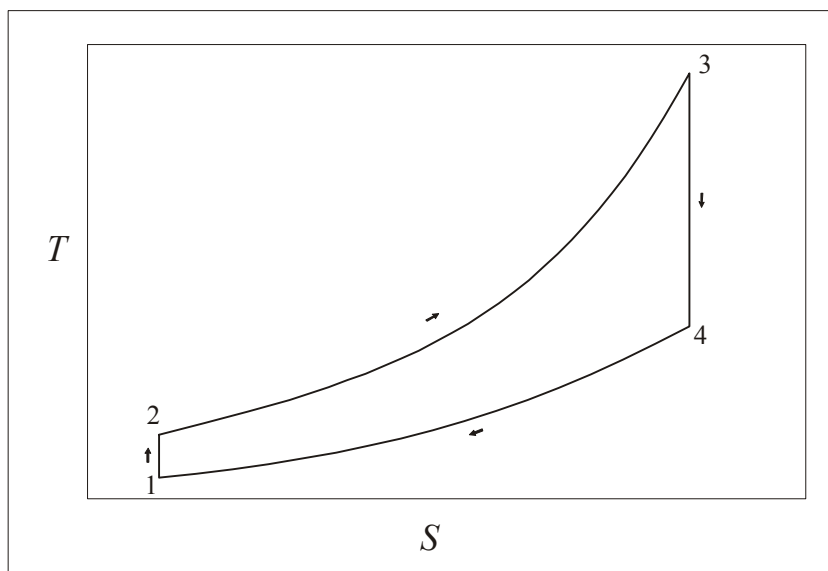
⁷ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 476-477

⁸ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 227-228

0-1 szakasz felel meg. A körfolyamat tárgyalásához erre a szakaszra nincs szükség, ezért a diagramon nem is tüntetik fel. A második ütem az 1-2 szakasznak felel meg, ez adiabatikus kompresszió.



5.11. ábra: Elméleti Otto körfolyamat p - V diagramja



5.12. ábra: Elméleti Otto körfolyamat T - S diagramja

A harmadik ütem tartalmazza a 2-3 izochor szakaszt és a 3-4 adiabatikus expanziós szakaszt. A negyedik ütem a 4-1 izochor szakasz (hűlés) és az 1-0 szakasz (kipufogás). A körfolyamat során a hőfelvétel a 2-3 szakaszon történik, a hőleadás pedig a 4-1 szakaszon.

A hatásfok az 5.14 egyenlettel adható meg. A 4.32 egyenlet alapján belátható:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{V_2^{\kappa-1}}{V_1^{\kappa-1}} \quad (5.19)$$

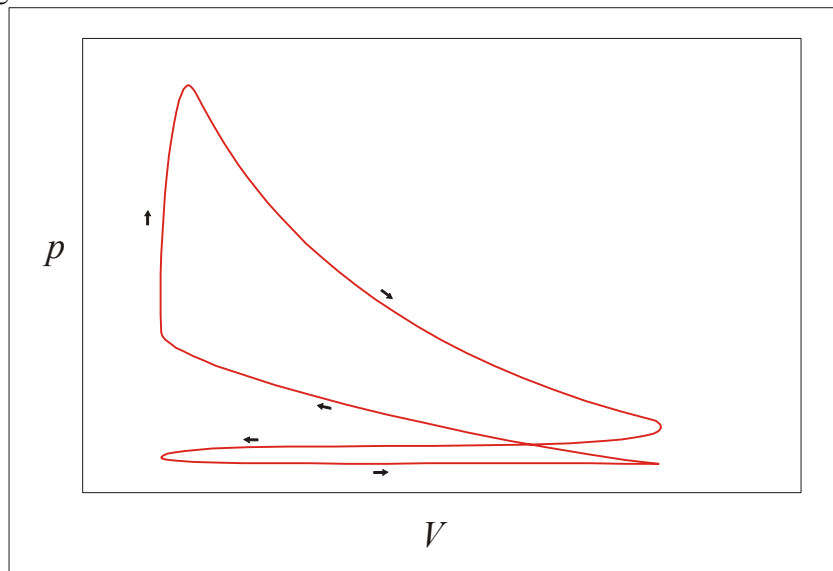
Ha bevezetjük a kompresszióviszonyt ($\varepsilon = V_1/V_2$), akkor a hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (5.20)$$

A hatásfok a kompresszióviszony növelésével nő. Ennek határt szab az üzemanyag-levegő keverék öngyulladás, amit el kell kerülni. Benzinmotorok esetén a kompresszióviszony 1:7 – 1:12.

A valóságos benzinmotorok esetében a p-V diagram egy bonyolult görbe, melynek matematikai tárgyalása komplikált. A valódi motorok hatásfoka kisebb, mint az 5.20 egyenlettel számított érték.

Benzinmotorok esetében a kompresszió végnyomása 12-17 bar, az égési csúcshőmérséklet 2000-2500 °C. A motorok tényleges hatásfoka 24-35%.



5.13. ábra: Valódi Otto körfolyamat p-V diagramja

5.4 Elméleti Diesel körfolyamat

A dízelmotor (*Rudolf Christian Karl Diesel*, 1893) működése négy ütemre bontható^{9,10}. Az első ütem a szívás: a dugattyú a hengerben lefelé mozog, s közben egy nyitott szelepen át levegő áramlik a hengertérbe. A második ütemnél a dugattyú felfelé mozog, sűríti és felhevíti a levegőt, és minden szelep zárva van. A harmadik ütem kezdetén a komprimált forró levegőbe injektálják a dízelolajat, ami a forró levegő hatására meggyullad, és állandó nyomáson égve elkezd lefelé tolni a dugattyút. Az égés lassabb, mint a benzin égése a benzinmotorban. Az égés végeztével adiabatikus tágulás juttatja el a dugattyút az alsó holtpontra. A negyedik ütemben a dugattyú felfelé mozog, a kipufogószelep nyitva van, s az égéstermékek távoznak a hengerből. A körfolyamat újraindul friss levegővel. Az idealizált folyamat két adiabatikus, egy izobár és egy izochor folyamatból áll. A körfolyamat p-V diagramja az 5.14 ábrán látható.

Az első ütem a 0-1 szakasz; ezt a körfolyamat energodinamikai tárgyalásához nem kell figyelembe venni. A második ütem az 1-2 szakasz. A harmadik ütem (munkaütem) a 2-3 és a 3-4 szakasz együtt. A negyedik szakasz (kipufogás) a 4-1 és 1-0 szakasz együtt.

A számítást hasonlóképpen kell elvégezni, mint az előző esetekben. A végeredményként kapott hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \left(\frac{\rho^{\kappa} - 1}{\kappa(\rho - 1)} \right) \quad (5.21)$$

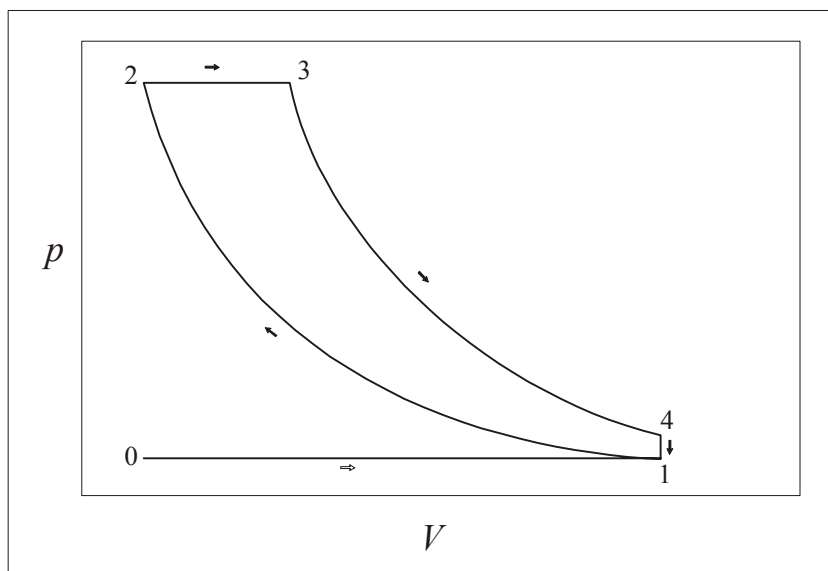
ahol $\rho = V_3 / V_2$ az égési folyamat végén és kezdetén lévő térfogatok aránya.

Valóságos dízelmotorok esetében a p-V diagram hasonlít a benzinmotorok esetében kapott görbéhez, de nincs rajta kiugró csúcs, kevésbé szögletes (5.16 ábra).

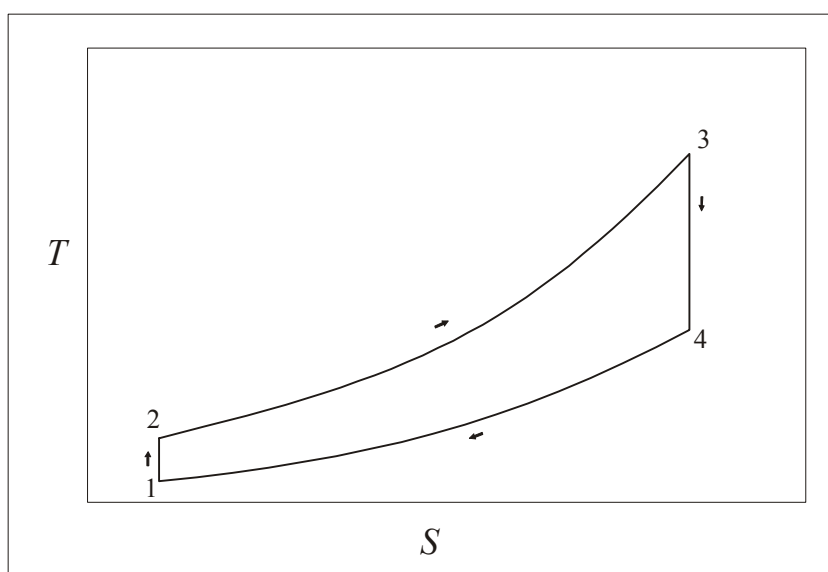
Dízelmotorok esetében a kompresszióviszony 1:16 – 1:22, a kompresszió végnyomása 30-55 bar, az égési csúcsnyomás 60-80 bar, az égési csúcshőmérséklet 2000-2500 °C. A motorok tényleges hatásfoka 32-43%. A dízelmotorok jobb hatásfoka annak köszönhető, hogy ugyan az 5.21 egyenlet kisebb hatásfokot eredményez ugyanakkora ε -ra, mint az 5.20 egyenlet, de a dízelmotorokban sokkal nagyobb kompresszió érhető el.

⁹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 478

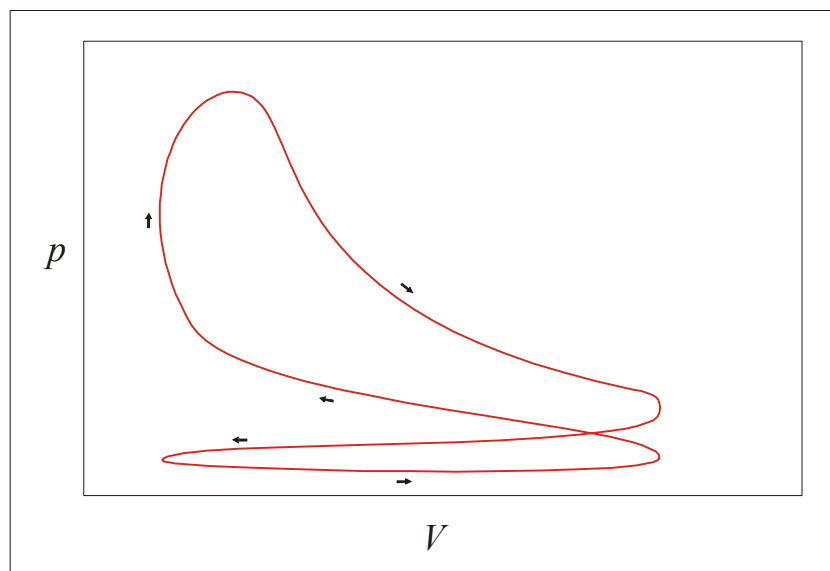
¹⁰ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 228



5.14. ábra: Elméleti Diesel körfolyamat p-V diagramja



5.15. ábra: Elméleti Diesel körfolyamat T-S diagramja

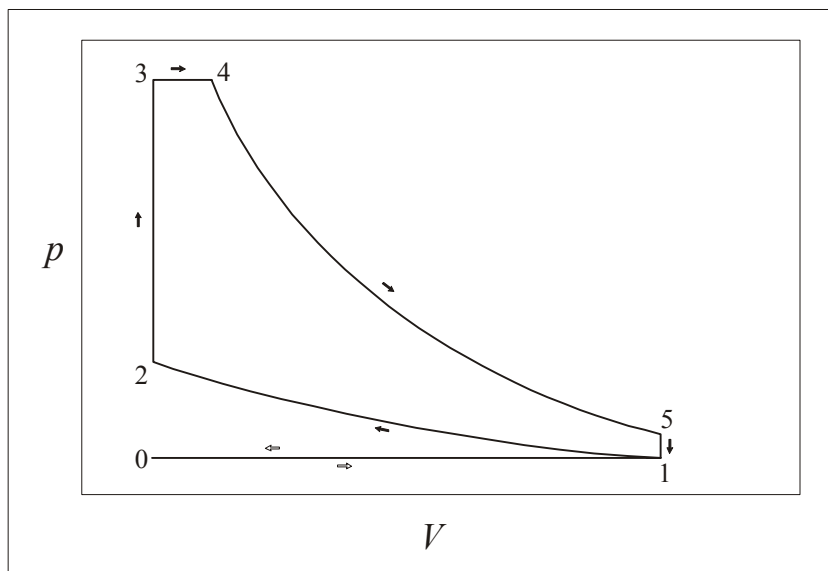


5.16. ábra: Valódi Diesel körfolyamat p-V diagramja

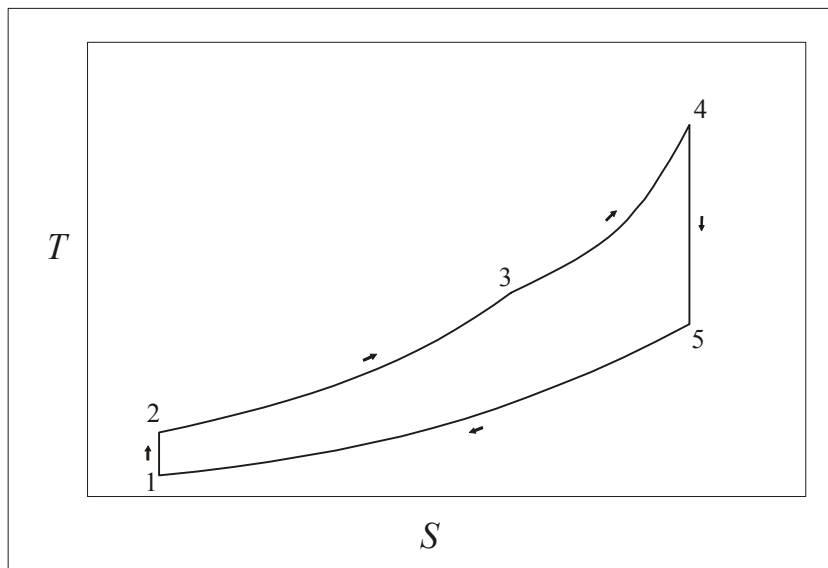
5.5 Kevert körfolyamat (Sabathe körfolyamat vagy Seiliger körfolyamat)

A valódi benzin- illetve dízelmotorok körfolyamata matematikailag nehezen kezelhető. Leírásukat jól lehet közelíteni a kevert (Sabathe vagy Seiliger) körfolyamattal (*Myron Seiliger*, 1922; *Sabathé*, 1908). Ez tulajdonképpen az elméleti Otto és az elméleti Diesel körfolyamat keveréke (5.17-18 ábra). A motor működésének első üteme, a szívás (0-1 szakasz) izobár, a második ütem a sűrítés (1-2 szakasz) adiabatikus állapotváltozás. A harmadik ütem (munkaütem) részben izochor, részben izobár és részben adiabatikus állapotváltozás: az égés elején a dugattyú a felső holtponton van, s egy ideig a térfogat állandó (2-3 szakasz), majd a dugattyú elindul, miközben az üzemanyag még mindig ég, s ekkor a nyomás tekinthető állandónak (3-4 szakasz). Az égés végeztével a forró gázok adiabatikusan kitérülnek (4-5 szakasz). A negyedik ütem (kipufogás) ugyanolyan, mint az elméleti Otto vagy Diesel körfolyamatnál (5-1 és 1-0 szakaszok).

Ha benzinmotort tárgyalunk a kevert körfolyamat segítségével, akkor az izochor szakasz a hosszabb (2-3 szakasz), ha dízelmotort, akkor az izobár (3-4 szakasz).



5.17. ábra: Ideális kevert (Sabathe, Seiliger) körfolyamat p-V diagramja



5.18. ábra: Ideális kevert (Sabathe, Seiliger) körfolyamat T-S diagramja

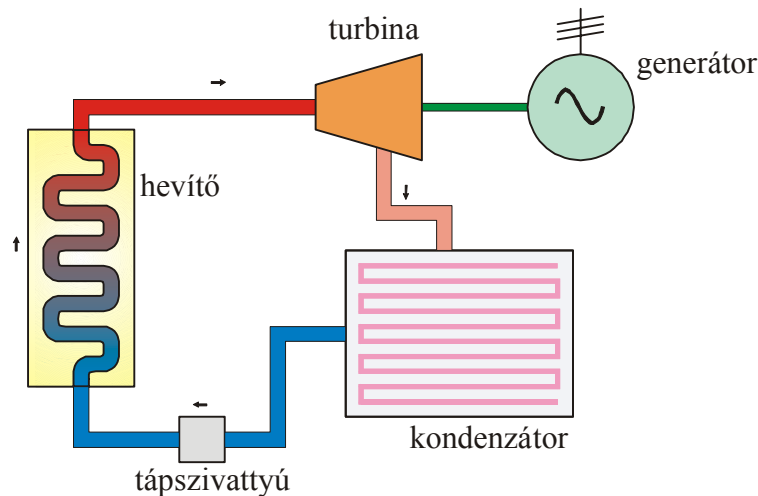
A hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \frac{\rho^{\kappa} \lambda - 1}{(\lambda - 1) + \kappa \lambda (\rho - 1)} \quad (5.22)$$

ahol $\rho = V_4 / V_3$ az égési folyamat végén és kezdetén lévő térfogatok aránya, $\lambda = p_3 / p_2$ pedig az égési folyamat végén és kezdetén lévő nyomások aránya.

5.6 Rankine-Clausius körfolyamat

A villamosenergia-termelésben résztvevő erőművek jelentős számban Rankine-Clausius-féle gőzkörfolyamatot^{11,12} (*William John Macquorn Rankine*, 1859) megvalósító erőművek (hőerőművek, atomerőművek). A berendezés négy fő egységből áll (5.19 ábra). A tápszivattyú nagy nyomással továbbítja a vizet a hevítő (kazán, atomreaktor) felé. A hevítőben a vizet felmelegítik, elforralják, és többnyire a vízgőzt túl is hevítik. A turbinában a vízgőz munkát végez (tengelyt megforgat, s ezzel hajtják meg a villamos generátort), s közben lehűl. A kondenzátorban a gőz leadja a maradék hőt, és vízzé kondenzálódik. Innen újra a tápszivattyúba kerül.

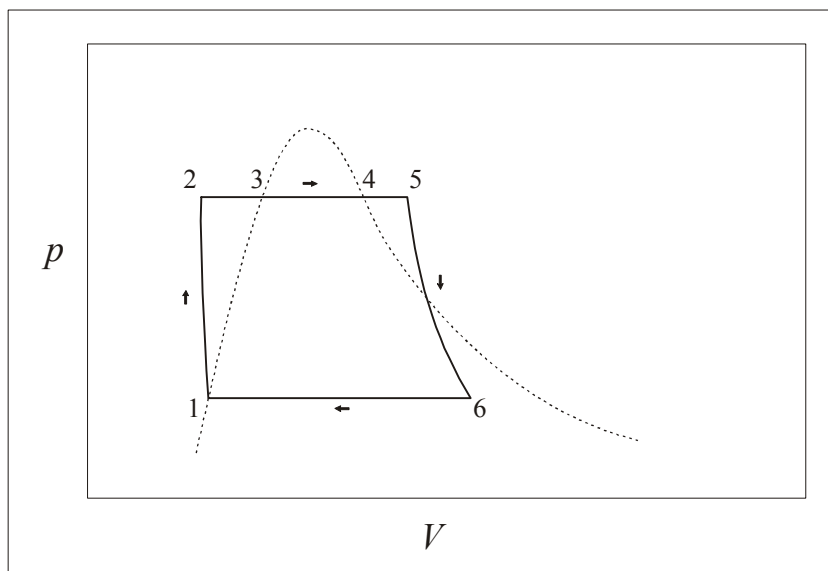


5.19. ábra: Rankine körfolyamatot megvalósító gőzturbinás erőmű elvi felépítése

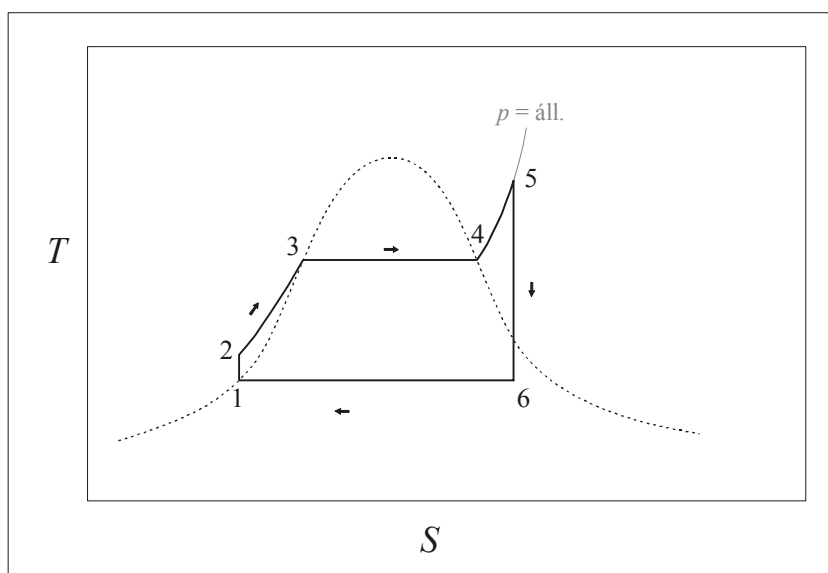
¹¹ Vajda György: Energetika II. ,Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984, pp. 120-127

¹² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 225-226

A körfolyamat p-V és T-S diagramja látható az 5.20 és 5.21 ábrákon.



5.20. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat p-V diagramja



5.21. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat T-S diagramja

A szaggatott vonal a víz fázisait elválasztó határoló görbe. A ciklus az 1 pontban indul. Az 1-2 szakaszon a tápszivattyú megnöveli a víz nyomását és eljuttatja a hevítőbe. A 2-3, a 3-4 és a 4-5 szakasz a hevítőben játszódik le: a víz először forrpontig felmelegszik (2-3), majd elforr (3-4; nedves gőz), és a forró gőz tovább lesz hevítve (4-5; száraz gőz). Az 5-6 szakaszon a gőz a turbinában munkát végez, s közben lehül és a nyomása is lecsökken. A turbinából kijutó gőzt a kondenzátorban hűtéssel cseppfolyósítják (6-1 szakasz). A víz újra a tápszivattyúba kerül.

A hatásfok számításához az entalpiákat kell figyelembe venni. A betáplált hő a víz(gőz) entalpiájának változásával egyenlő:

$$Q_{\text{fel}} = H_5 - H_2 \quad (5.23)$$

A leadott hő:

$$|Q_{\text{le}}| = H_6 - H_1 \quad (5.24)$$

A tápszivattyú munkája:

$$W_{\text{sz}} = H_2 - H_1 \quad (5.25)$$

A turbina munkája:

$$W_{\text{turb}} = H_5 - H_6 \quad (5.26)$$

A hatásfok:

$$\eta = \frac{W_{\text{turb}} - W_{\text{sz}}}{Q_{\text{fel}}} = \frac{(H_5 - H_6) - (H_2 - H_1)}{H_5 - H_2} \quad (5.27)$$

A legtöbb esetben a tápszivattyú munkája elhanyagolható a turbina munkája mellett, így a hatásfok:

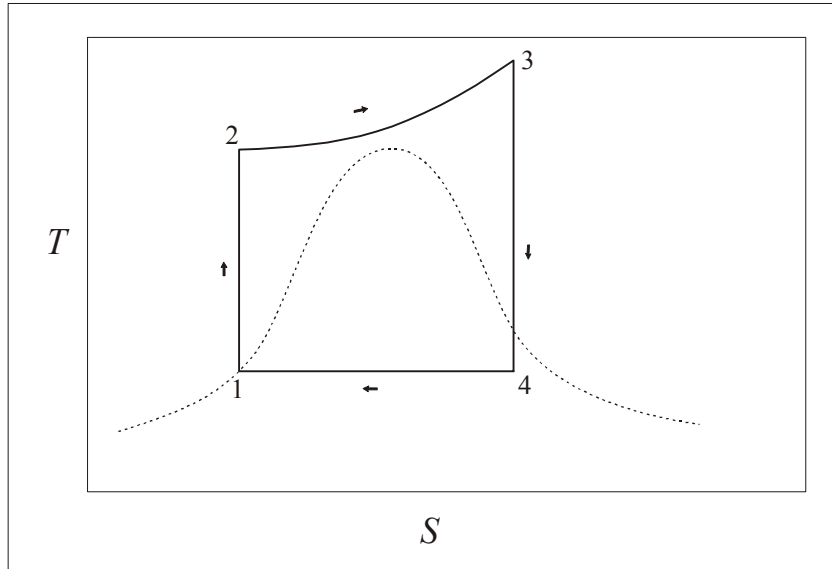
$$\eta = \frac{H_5 - H_6}{H_5 - H_2} \quad (5.28)$$

A tipikus hőerőművekben a hevítőben 170-180 bar nyomást és 535-570 °C hőmérsékletet alkalmaznak.

A hatásfok értéke a Carnot-féle körfolyamathoz képest kisebb, de a gyakorlatban megvalósítható körfolyamatok közül a legjobban ez közelíti meg.

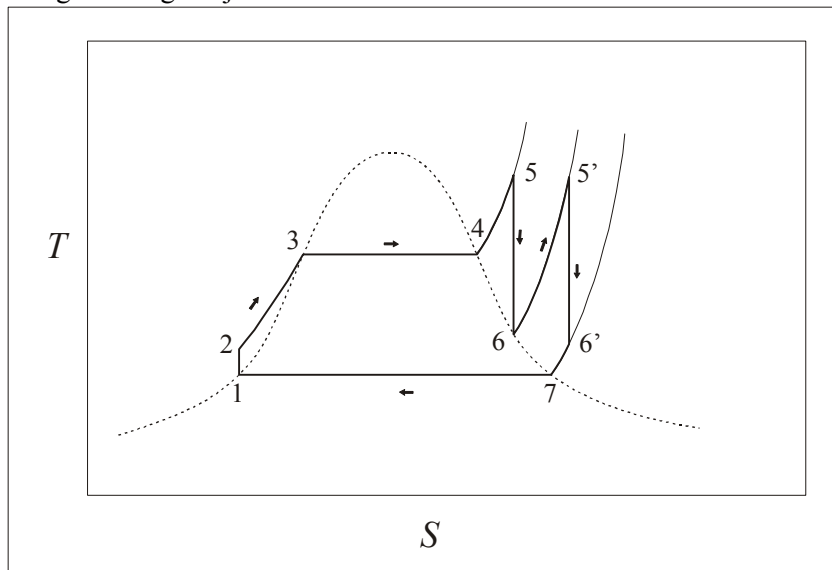
A hatásfok növelésére több megoldást is használnak.

Az egyik megoldás a szuperkritikus körfolyamat megvalósítása (5.22 ábra). Ezzel a rendszerrel a Carnot-féle körfolyamat jobban megközelíthető. A szükséges nyomásértékek azonban nagyon magasak (240-270 bar), s ezzel együtt bonyolultabb szabályozásra és kényszeráramoltatásra is szükség van.



5.22. ábra: Szuperkritikus Rankine körfolyamat T-S diagramja

Másik megoldás a gőz újrahevítése.

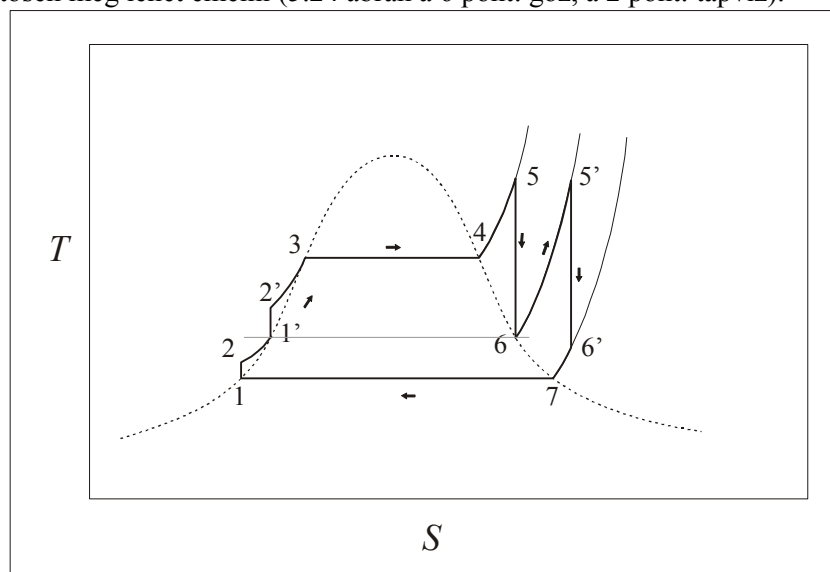


5.23. ábra: Újrahevítéses Rankine körfolyamat T-S diagramja

Korszerű erőművekben a turbinát több részből szerelik össze, így lehetőség van fokozatok létrehozására: az első turbinafokozat után (5.23 ábra, 6 pont) a gőzt

visszavezetik a hevítőbe, majd a forrósítás után a második turbinafokozatba (5.23 ábra, 5' pont), s csak ezután juttatják el a kondenzátorba. Így 2-4% hatásfok növekedést lehet elérni.

A hatásfok javítható azzal is, ha a bemenő víz hőmérsékletét sikerül megemelni; ez a regeneratív tápvízelőmelegítés. A turbinából kivezetett gőzt az azonos nyomású tápvízzel összekeverve, a hevítőbe belépő víz hőmérsékletét jelentősen meg lehet emelni (5.24 ábrán a 6 pont: gőz, a 2 pont: tápvíz).



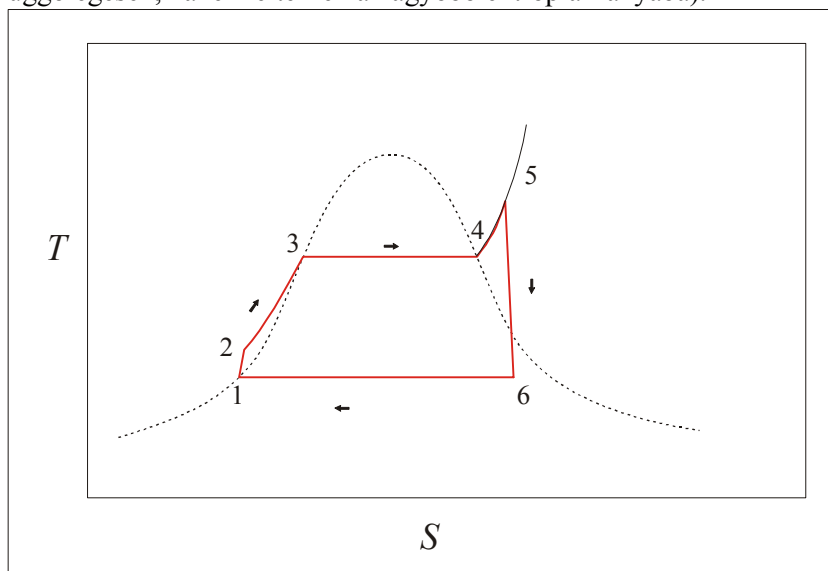
5.24. ábra: Rankine körfolyamat regeneratív tápvízelőmelegítéssel

Ezzel a módszerrel 6-10% hatásfok növekedés érhető el. A mai korszerű erőművek regeneratív tápvízelőmelegítéssel és a gőz újrahevítésével 38-39%-os hatásfokon tudnak üzemelni.

Ha kisebb hőmérsékletkülönbségeket kell villamos energia előállítására felhasználni, akkor a szerves Rankine körfolyamatot (organic Rankine cycle: ORC) lehet alkalmazni. Ennél a közeg nem víz, hanem valamilyen szerves anyag, leggyakrabban szénhidrogén, például pentán vagy bután. Az ilyen erőművek kis teljesítményűek; alkalmasak ipari hulladékhő, geotermális hő, biomasszából nyerhető hő vagy szoláris hő hasznosítására.

Az 5.20-5.24 ábrák az ideális Rankine körfolyamatokat mutatták be. Természetesen a valódi erőműveknél nem lehet eltekinteni a termikus veszteségektől. Ezek a veszteségek a T-S diagramon legfőképpen az izentrópus

szakaszoknál észrevehetőek (az 5.25 ábrán a körfolyamat 1-2 és 5-6 szakaszai nem függőlegesek, hanem eltérnek a nagyobb entrópia irányába).



5.25. ábra: Valódi Rankine-Clausius gőzkörfolyamat T-S diagramja

Kérdéstár:

1. Mennyi a jósági tényezője annak a Carnot-féle körfolyamatot alkalmazó fagyasztógépnek, mely a 15 °C-os kamrában áll, és a belsejében –18 °C van?
2. Mennyi lehet elméletileg a hatásfoka annak a benzinmotornak, melynek a kompresszióviszonya 1: 10,5 (Opel Calibra C20XE 2,0i 16V)?
3. A direkt körfolyamatokat megvalósító gépek a/az _____.
4. A _____ munkavégzés árán a külső környezetből hőt visz a fűtendő belső térbe.
5. A gázturbinás erőművekben a/az _____ körfolyamatot valósítják meg.
6. A valódi benzinmotorok hatásfoka
 - a. nagyobb lehet, mint 10%
 - b. kisebb lehet, mint 20%
 - c. nagyobb lehet, mint 30%
 - d. kisebb lehet, mint 40%
 - e. nagyobb lehet, mint 50%
 - f. kisebb lehet, mint 60%
7. A valódi dízelmotorok hatásfoka
 - a. kisebb lehet, mint 10%
 - b. nagyobb lehet, mint 20%
 - c. kisebb lehet, mint 30%
 - d. nagyobb lehet, mint 40%
 - e. kisebb lehet, mint 50%
 - f. nagyobb lehet, mint 60%

8. Az ideális Carnot-féle körfolyamat hatásfoka
 - a. az elméletileg elérhető legnagyobb
 - b. függ az anyagi minőségtől
 - c. függ az entrópiától
 - d. függ a hőtartályok hőmérsékletétől
 - e. nem függ a hideg hőtartály hőmérsékletétől
 - f. nem függ a meleg hőtartály hőmérsékletétől

9. Az elméleti Brayton-Joule körfolyamat
 - a. hatásfoka függ az égés hőmérsékletétől
 - b. hatásfoka függ a nyomásviszonytól
 - c. állandó térfogaton játszódik le
 - d. állandó hőmérsékleten játszódik le
 - e. hatásfoka állandó

10. Az elméletileg elérhető legmagasabb hatásfokot a legjobban
 - a. az Otto-féle körfolyamat közelíti meg
 - b. a Diesel-féle körfolyamat közelíti meg
 - c. a Brayton-Joule körfolyamat közelíti meg
 - d. a Sabathe/Seiliger-féle körfolyamat közelíti meg
 - e. a Rankine-Clausius körfolyamat közelíti meg

11. Direkt körfolyamatnál
 - a. a közeg folyamatosan melegszik
 - b. a közeg folyamatosan hűl
 - c. a közeg hőmérséklete nem változik
 - d. a közeg munkát végez
 - e. a közegen munkát végeznek

12. Indirekt körfolyamatnál
 - a. a közeg folyamatosan melegszik
 - b. a közeg folyamatosan hűl
 - c. a közeg hőmérséklete nem változik
 - d. a közeg munkát végez
 - e. a közegen munkát végeznek

13. Carnot-féle körfolyamat során
 - a. nem lehet izotermikus szakasz
 - b. lehet izotermikus szakasz
 - c. lehet izochor szakasz
 - d. lehet izobár szakasz
 - e. nem lehet adiabatikus szakasz

14. Rankine-Clausius körfolyamat során
 - a. nem lehet izotermikus szakasz
 - b. lehet izotermikus szakasz
 - c. nem lehet izochor szakasz
 - d. nem lehet izobár szakasz
 - e. nem lehet adiabatikus szakasz

15. A Sabathe/Seiliger-féle körfolyamat
 - a. gőzkörfolyamat
 - b. a benzinmotorok elméleti körfolyamata
 - c. a dízelmotorok elméleti körfolyamata
 - d. a valódi motorok közelítő körfolyamata
 - e. gázmotorok közelítő körfolyamata

6. Energiaigény; előrejelzése. Várható fogyasztás modellezése. Energiafogyasztás menedzselése: fogyasztásmérés – fogyasztó ki- és bekapcsolása. Statikus és dinamikus árazás

Minden emberi tevékenység energiaigényes. Az ipari termelés és szolgáltatás más igényeket támaszt, mint a lakosság energiával történő ellátása.

Lokális szinten az energiaigény előrejelzése egy-egy létesítmény várható energiafogyasztásának becslését jelenti. Tervezési szakaszban ez a becslés számítások alapján történhet. Figyelembe kell venni minden tényezőt. Magyarországon szükséges a téli fűtés. A mai hatályos jogszabályok szerint épületek tervezésekor kötelező a hőtechnikai számításokat is elvégezni. E számítások elvégzéséhez pontosan kell ismerni, hogy az épületet milyen anyagból emelik (falazat), milyenek lesznek a nyílászárók hőtechnikai adatai; ha szükséges meg kell tervezni a légcserét és a légcseréhez tartozó hőcserélő kialakítást vagy berendezést is.

A teljes energiafogyasztás előrejelzéséhez szükséges ismerni az épületben használandó eszközök egyedi (gyári) fogyasztását is. Például egy lakóház esetén az épület hőtechnikai számításai alapján meg lehet becsülni a fűtés energiaigényét. Lakóház esetén számítani kell hűtőgépre, mosógépre, egyéb konyhatechnikai és szórakoztató elektronikai berendezésekkel. A modern lakások tipikus nagyfogyasztójává lépett elő az LCD vagy plazma TV. Míg egy hagyományos katódsugárcsöves TV 50-60 W elektromos teljesítményt használva működik, addig egy LCD TV 100-250 W, egy plazma TV 300-400 W teljesítményt is igényelhet. Nagyfogyasztó az asztali számítógép is (> 400 W). A mosógépek tipikus igénye 2 kW, de ezt a teljesítményt nem veszik fel folyamatosan, csak a víz felmelegítésének időtartamára. Egy modern, A+ energia besorolású, fagyasztótérrel is rendelkező hűtőgép éves fogyasztása akár 259 kWh/év is lehet (Bosch KIL38A51), ami átlagosan csak 30 W teljesítményigényt jelent!

Háztartási nagyfogyasztó lehet az elektromos vízmelegítő is. Régi készülékek esetében érdemes kalkulációt készíteni: ha lecseréljük például az elektromos vízmelegítőt egy korszerű modellre, akkor lehet, hogy a kisebb fogyasztás miatt, már akár fél-egy év alatt is megtérül a befektetés.

Régebbi épület esetében a fűtés korszerűsítése is akár két-három szezont alatt megtérülhet. Sokszor elegendő a kazánt kicserélni egy újra. A mai berendezések energiahasznosítása sokkal jobb, mint akár a tíz évvel ezelőtti készülékeké.

Energetikai szempontból a legjobb épületfűtési megoldás a távfűtés. A nagyméretű kazánok minden szempontból előnyösebbek, mint a kisméretűek. Hatékonyabban használják fel a keletkező hőt, és a lakóegységre jutó karbantartási költségek is kisebbek, mint az egyedi fűtésrendszereknél. Természetesen akkor működik a legjobban, ha az egyedi lakásokban is meg van teremtve a lehetőség a fűtés helyi szabályozására (termosztatikus radiátorszelepek; költségmegosztó mérőeszközök).

Lokálisan energia megtakarításával járhatna a világítási rendszer korszerűsítése is: a kompakt fénycsövek fényhasznosítása nagyobb, élettartama hosszabb, mint a hagyományos izzóké. Elméleti szinten valóban ez a helyzet. Alaposan megvizsgálva a problémát, már nem ennyire egyszerű a választás. Tény, hogy a kompakt fénycsövek ugyanakkora fény mennyiség produkálásához 75%-kal kevesebb villamos energiát fogyasztanak. De ez csak akkor igaz, ha a fénycső már bemelegedett, azaz legalább 20-30 perce folyamatosan világít. A bemelegedési időszak alatt a fogyasztása magasabb is lehet, mint a hagyományos izzóé.

Ahhoz, hogy ténylegesen kevesebb összfogyasztást lehessen mérni, a kompakt fénycsövekkel legalább néhány órán keresztül érdemes egyvégtében világítani. Olyan helyiségekben, ahol huzamosabban tartózkodunk (nappali, konyha, hálószoba), megéri ezeket alkalmazni, de ahol csak rövid ideig vagyunk (WC, fürdőszoba, kamra), ott energiapazarlás a kompakt fénycső használata. Ráadásul a kompakt fénycső érzékeny a gyakori kapcsolgatásra; ennek hatására a tényleges élettartama a névlegesnek akár a tizedére (vagy még kevesebbre) is lecsökkenhet.

Ha figyelembe vesszük a kompakt fénycső teljes élettartamát, a helyzet még kétségesebb: egy kompakt fénycső előállításának energiagénye körülbelül 6-szor akkora, mint egy hagyományos izzólámpáé. A fénycső nagyon sok környezetre veszélyes, mérgező vegyületet tartalmaz, emiatt az elhasznált fénycső gondos kezelést, és ezzel együtt újabb, nem kevés energia felhasználását igényli.

Világítani mindenhol kell, így ez az energiagazdálkodás olyan része, mely mindenkit érint. A hagyományos izzók fokozatosan kivezetésre kerülnek, de helyettük lehet a halogén töltésű izzókat használni. Ezek hasonlóképpen működnek, mint a hagyományos izzók, csak a burában nemesgáz helyett

halogéngáz van, emiatt magasabb hőmérsékletre hevíthető az izzószála, s így a fogyasztásuk csak 2/3-a azokénak. A legjobb megoldást valószínűleg a LED alapú lámpák jelentik majd, kicsi fogyasztással, hosszú élettartammal, bemelegedési idő nélkül. A LED alapú lámpák csak rövid ideje van még a piacon. A gyártástechnológia még nem eléggé kiforrott; a hosszú távú hatásokat még nem lehet felmérni.

Érdeemes odafigyelni az olyan elektromos eszközökre is, melyek készenléti állapotba helyezhetők. Ha csak 1 W a készenléti üzemmód által igényelt teljesítmény, éves szinten akkor is 8,76 kWh villamos energiát fogyaszt, ami körülbelül 400,- Ft (2011.01.01-i árlista alapján). Sok készüléknek ettől magasabb is lehet a készenléti állapotban a fogyasztása. Éves szinten komoly összegeket lehet megtakarítani egy kis odafigyeléssel: ha nincs szükség valamilyen eszközre, akkor érdemesebb inkább kikapcsolni, vagy kihúzni az aljzatból. Azon felül, hogy pénzt takarítunk meg, az így megtakarított villamos energiát elő sem kell állítania az erőműveknek, s ez által a természeti környezetünket is kímélhetjük.

A takarékos energiafelhasználást elősegítik a különféle fogyasztásmérők. Ezek segítségével a szolgáltatók számlázzák a fogyasztásunkat, de a mérőórák rendszeres ellenőrzésével mi is tudunk változtatni a saját fogyasztási szokásainkon, s így jobban felhasználhatjuk az otthonunkba eljuttatott energiát.

Kaphatók elektromos aljzatba csatlakoztatható fogyasztásmérők is, melyek használatával hamar felderíthetők a legtöbb villamos energiát fogyasztó eszközök egy háztartásban.

Globális viszonylatban (település, régió, ország, kontinens, Föld) az energiafelhasználás mértéke csak becsülhető az előző időszakok tényleges fogyasztási adatai alapján. Ami nagy bizonyossággal megállapítható: az emberiség energiaigénye folyamatosan nő.

6.1. Árképzés

Az energiatermelés és az energiaforrások kereskedelme globális, az egész Földre kiterjedő mértékben összefügg.

A közgazdaság tanítása szerint minden áru annyit ér, amennyit a vevő hajlandó fizetni érte. Az elmúlt 100-150 évet megelőzően ez így is működött. A piacon minden vevő alkudhatott az eladóval; ha sikerült megegyezniük, akkor létrejött az üzlet. Ha nem tudtak megegyezni, akkor a vevő átment egy másik árus pultjához. Nagyvállalatok között az alkudozás a mai napig természetes része az üzlet-

kötésnek. Csak igen fontos termékek esetében – az energia ilyen termék – fordul elő, hogy az állam beavatkozhat az árképzésbe. Globális – államok hatáskörén túlnyúló – kereskedés esetében azonban az állam nem tud beavatkozni. A nyersolaj árát nem egy állami szervezet határozza meg, hanem az adott pillanatban mérhető szükségletek és a fizetőképes kereslet alapján döntenek együtt az olajkitermelő országok (vállalatok) képviselői. Ha nincs meg a megfelelő kereslet, akkor az olajkitermelő országok csak annyit tehetnek, hogy a kitermelést egy időre visszafogják. A nyersolaj ára ennek megfelelően pillanatról pillanatra változik; ez jól nyomon követhető a tőzsdén. Tehát a nyersolaj világpiaci ára változó, dinamikus ár. Az energiaszektor más területein is általában a jó alkupozícióban lévő (kellően erős) nagyvállalatok egyedi árakat tudnak kialakítani az energiaszolgáltatókkal.

A nagyméretű iparosítás, gépesítés, tömegtermelés következtében eltávolodott egymástól az egyedi (lakossági) fogyasztó és az energiaszolgáltató. Ez utóbbi a gazdasági erőfölényét kihasználva rászoktatta az utóbbi 100-150 évben a lakossági fogyasztókat arra, hogy fix árak vannak; ezeket el kellett fogadni. A vásárló passzív, árelfogadó szerepbe kényszerült: ez a statikus árképzés.

Az informatikai eszközök fejlődésével és az Internet megjelenésével változások történtek. Lehetővé vált, hogy egy zalaegerszegi előfizető például egy észak-magyarországi áramszolgáltató vagy gázellátó cégtől vásárolja otthonába a villamos energiát vagy a gázt, mint energiahordozót. Az előfizető az Internet segítségével összehasonlíthatja a különböző szolgáltatók árait, dönthet, és át is jelentkezhet. Ez esetben a szolgáltatók – szintén az Internet segítségével – akár egyedi, személyre szabott ajánlatokkal is megkereshetik a lakossági fogyasztókat. Az eddig egyoldalú árképzés kicsit kiegyensúlyozottabbá válik. Az árképzés dinamikus lesz.

Ha hatósági árakat szab meg az állam (statikus árképzés), akkor ezzel az energiaszektor egyes résztvevőit igen nehéz helyzetbe hozhatja: például ha a gázturbinás erőmű a gázt szabadáras termékként vásárolja, de a megtermelt villamos energiát hatósági áron tudja csak értékesíteni, akkor előfordulhat, hogy az erőmű veszteségesé válik. Hosszú távon akár meg is szűnhet. Ez esetben a kieső termelést pótolni kell: külföldről kell megvásárolnia az államnak, mégpedig piaci áron. Így a rövid távú (látszólagos) nyereség később egyértelmű veszteséggé válhat. Az energiaszektorban létrejövő/létrehozott problémák – természetüknél fogva – minden más szektor számára is problémaként fognak jelentkezni.

Kérdéstár:

1. Számítsa ki mennyivel fizet többet egy évben a szükségesnél az a fogyasztó, aki az LCD TV-t egész évben csak a távirányítóval kapcsolja ki, átlagosan napi 5 óra TV-nézés mellett. (A készülék teljesítményigénye készenléti állapotban 0,7 W; a villamos energia díja 2011.01.01-i árlista alapján 1 kWh \approx 45 Ft.)
2. Amikor egyedi, személyre szabott ajánlatokkal keresi meg a szolgáltató a fogyasztót, azt _____ árazásnak nevezik.
3. Háztartási nagyfogyasztó
 - a. a plazma TV
 - b. a mosógép
 - c. a vasaló
 - d. az elektromos vízmelegítő
 - e. a hordozható MP3-lejátszó
 - f. az asztali számítógép
4. Egy háztartás energiaigényének megbecsüléséhez
 - a. hőtechnikai számításokat kell végezni
 - b. meg kell mérni a gázzal működő eszközök fogyasztását
 - c. meg kell mérni a villamos energiával működő eszközök fogyasztását
 - d. meg kell mérni a napenergiával működő eszközök fogyasztását
 - e. mérőberendezéseket kell felszerelni
5. A kompakt fénycső
 - a. környezetbarát
 - b. már rövid idejű működés esetén is takarékos
 - c. csak hosszú idejű működés esetén takarékos
 - d. előállítása egyszerű
 - e. azonnal teljes fénnel világít

7. Energiatermelés rendszere

Az energiatermelés az emberrel összefüggő fogalom. Az ember energetikai szükségleteinek kielégítésére irányuló tevékenység. Az energiatermelés során az ember számára használhatóbb állapotú energiahordozót hoz létre. Ahhoz, hogy a különféle energiahordozókat hasznosíthatóvá alakítsuk, „egy sor technikai tevékenységre, értékteremtő munkára van szükség.”¹

Az energiatermelés lényegileg az energiahordozó állapotának átalakítása. Az állapotváltoztatások energiatartalommal járnak, azaz az átalakítás hatásfoka kisebb, mint 100%.¹

Az életfunkciók ellátásához szükséges energiát táplálékkal viszi be az ember a szervezetébe. Ennek energiataralma naponta 10–13 MJ. Ez fedezi a belső életfunkciók energiáját, a test hőmérsékletét, a fizikai mozgást, a munkavégzést. Az ember naponta ~3 MJ munkavégzésre képes. Az emberi izomerő teljesítménye optimálisan: 100 W.²

Feladat

Számolja ki az alábbi adatokat! A szükséges alapadatokat a 7.3. táblázatból keresse ki!

Egy évre eső órák száma:

Egy évre eső munkaórák száma:

Egy liter benzín/gázolaj/propán-bután/... fűtőértéke:

Az évi munkaóra (fizikai) üzemanyagra átszámolt hőegyenértéke:

Az ember igényei egyre inkább nőttek, ezért az izomerő már nem felelt meg a szükségletek kielégítésére. Ezek: az anyagok mechanikai, kémiai, fizikai átalakítása, szállítása, világítás, hő felhasználása,... Az alapvető szükségletek mellett mind előtérbe kerültek a kényelmi (és a luxus) szükségletek, amelyek kielégítése a természeti erőforrások kiaknázásával, felhasználásával történt. Az embernek nem az energiára, hanem az energia nyújtotta szolgáltatásokra van szüksége. Az emberi fejlődés során mindig újabb és újabb szükségletek lépnek fel, s ezek az

¹ Szűcs Ervin–Schiller István: technika és energia II. Tankönyvkiadó, 1987. pp. 28–86.

² Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp. 13–15.

energiapotenciál mind jobb felismerésére és kihasználására ösztönzi az emberiséget, az egyes országokat.

Az emberi izomerő „kímélésére” kezdetben az állati vonóerőt alkalmazták, majd a szél és a víz energiáját hasznosították, elsősorban a szállítás, és az anyagok megmunkálása területén. A tűz energiáját melegedésre, főzésre, világításra, információ továbbításra is használták. A tüzelőanyagot a lakókörnyezet közelében gyűjtötték, a növények megújulását nem gátolták. A Nap energiáját szárításra, tartósításra, melegedésre közvetlenül hasznosították, de közvetett alkalmazások (víz melegítése, „fotoszintézis tudatos alkalmazása”) is kezdtek előtérbe kerülni.

A rövid történeti összefoglalóból is világosan látható, hogy az ember – az ipari forradalomig – a megújuló energiákat használta, nem megújuló energiaforrásokat csak esetenként alkalmazta.

7.1. Energiatermelés szerkezete

Az energiatermelés tehát tudatos tevékenységek együttese, amely tartalmazza az energiaforrás megismerését, felismerését, a kiaknázás megoldását, a szükséges átalakítások tervét és időben, térben való rendelkezésre állását. Ha az energia-hordozó közvetlenül igénybe vehető, akkor elsődleges (primér) forrásokról beszélünk. Ha átalakítás után használjuk fel: másodlagos, harmadlagos, ... energia-hordozónak tekintjük. Így valamely alap energiahordozóból kiinduló energiaátalakítási láncot vertikumnak nevezünk. Mivel az energiahordozók egy jelentős része makro szinten is „tanulmányozható”, ezért a kiindulást jelentő nyersanyag-energia kapcsolatot felismerhetjük, jellemezhetjük.

7.1.1. Tűzifa

Történeti példaként említhetjük, hogy az ember környezetében lévő természetes erdőségek terméseit élelmezésre, a lehullott leveleket, ágakat égetésre, füstölésre használták, a fatörzsekből használati tárgyakat (bútorokat, csónakokat, házakat, ...) készítettek, gondosan ügyelve arra, hogy az erdő ökoszisztéma a lehető legkevésbé sérüljön. A fejlődés felgyorsulása következtében mind több fatörzset tüzeltek el, így a megújulás lehetőségét gátolták. Az egyes energiatermelési módok tehát folyamatosan változtak. Az ember tudat alatti (ösztönös) vagy tudatos környezeti szemléletének függvényében úgy is átalakíthatta környezetét, hogy az hosszabb távon is „rendelkezésére” álljon. A mai tudatos erdőgazdálko-

dás fontos elemei: az élőfa készlet változás adatbázisa, a fahozamok ismerete és a termelési módok és megoszlásuk ismerete (7.1. kép).

Egy adott – faanyag kitermelést szolgáló – erdőterületen az alábbi kitermelési módok lehetségesek (7.1. táblázat):

- *Minőségi fatermelési cél* esetén legalább 25 cm (kéreg nélküli) mellmagassági átlagátmérő elérése és a bruttó fakészlet 20%-ának I. osztályú fűrészrönkként és falemezipari alapanyagként való felhasználása.
- *Mennyiségi fatermelési cél* esetén (kéreg nélküli) mellmagassági átmérő nem érheti el a 18 cm-t és a kivethető rönk aránya a bruttó fakészlet 15%-alatt marad.
- *Alternatív fatermelési cél:* esetén az adottságok jobbák a mennyiségi fatermelési célnál.³

| | Minőségi fatermelés | Alternatív fatermelés | Mennyiségi fatermelés | Készlet megőrzés | Összes erdő |
|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------|
| | ezer hektár | | | | |
| Mindösszesen | 90,1 | 594,5 | 487,9 | 2,0 | 1174,5 |
| % | 7.7% | 50,6 | 41,5 | 0,2 | 100% |

7.1. táblázat: Fatermelési cél szerinti területmegoszlás hazánkban, 2001-ben

Forrás: Állami Erdészeti Szolgálat: Magyarország erdőállományai 2001.

Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, 2002. pp. 62–63.



7.1. kép: Tüzelési célú rönkök átmeneti tárolása (Fotó: Révész T.)

³ Állami Erdészeti Szolgálat: Magyarország erdőállományai 2001. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, 2002. pp.58–63.

A biomassza és ezen belül a tűzifa közvetlen energetikai felhasználása az utóbbi évtizedekben visszaszorul. A fahulladék hasznosítására fabrikettet és fa-granulátumot (pellet) állítanak elő (7.2. kép). Ezek korszerű tüzeléstechnikai eszközökben jó hatásfokkal eltűzelhetők. Mivel a fa energetikai hasznosítása megújuló energiaforrásnak tekinthető, ezért az utóbbi években alternatív és kapcsolt rendszerekben alkalmazzák. Alapvető tulajdonságaik: a tömör szerkezet, kis víztartalom, magas fűtőérték és jó kezelhetőség.



7.2. kép: Fabrikett és pellet (Forrás: <http://brikett.ewk.hu/a-rikettalásról>)

7.1.2. Szén

Az ásványi szén főként mocsár- és láperdőségekből katasztrófa (földkéreg mozgások, jégkorszakok) hatására keletkezik speciális feltételek (nagy nyomás és hőmérséklet) mellett. A lebontást a ráakodott ásványi anyagok gátolják, szabályozzák. Az ún. szénülés folyamatában az illó anyagok egy része eltávozik, a széntartalom növekszik, a víz és meddő tartalom csökken.

A víz egy része a szállítás és feldolgozás során kerül a szénbe, másik része a higroszkopikus víz, amelyet a szén felülete abszorbeál és a kapillárisokban tárol. A nedvességtartalom gátolja az égést, elpárologtatására hőt von el, így az égés bizonytalanra válik. A nedvességtartalom közvetlenül és közvetve is (az SO_2 és az SO_3) kénessavvá és kénsavvá való átalakulása) korróziót hozhat létre.

Az égés utáni szilárd maradék a hamu, amely származhat az eredeti fatestekből (primér), a letakaró rétegekből (szekunder) és a fejtésből-szállításból (tercier). A szén hamutartalmának fő alkotói: ⁴

SiO_2 – kavasav: 11–60%
 Fe_2O_3 – vas-oxid: 2–35%

Al_2O_3 – alumínium-oxid: 6–35%
 MgO – magnézium-oxid: 0,3–9%

⁴ Szűcs Ervin–Schiller István: Technika és energia II. Tankönyvkiadó, 1987. pp. 28–86.

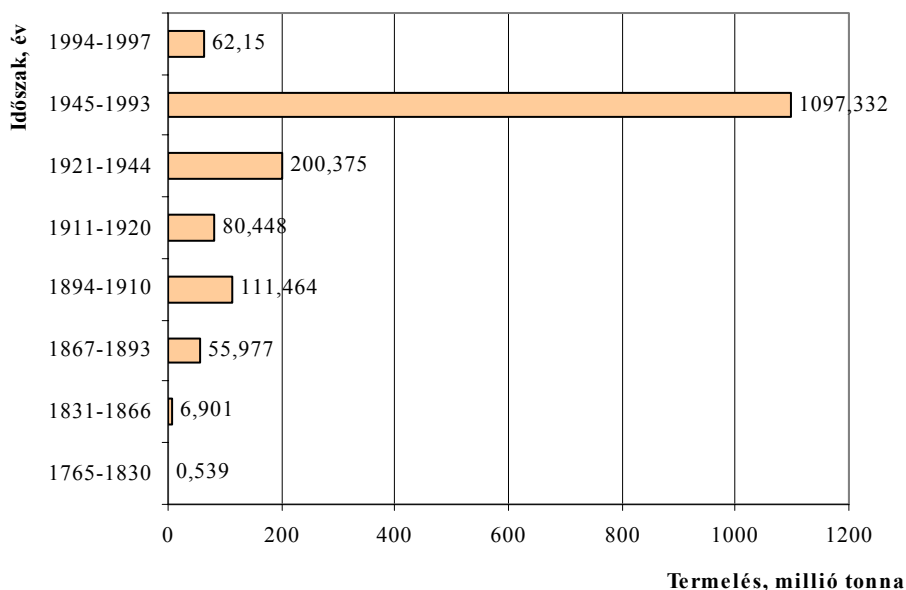
P₂O₅ – foszfor-pentoxid: 0–3% CaO – kalcium-oxid: 1–30%.

A szenek kora néhány millió évtől mintegy 0,6 milliárd évig terjedhet. A legfiatalabb hazai szén a lignit, melynek szerkezete még fás jellegű. A barnaszeneink 60–75 millió évesek, míg a feketeszenek kora 300–350 millió év.

A szeneket különböző telepkibúvások révén régóta ismeri az ember, de szervezett felhasználása az ipari fejlődés következménye. Hazánkban 1753-ban Brennbergbányán nyitották az első bányát. Ezt továbbiak követték: Verőce – 1768; Dorog – 1782; Vasas – 1786; Sajókaza – 1786.⁵ Kőszeneiket és külszíni fejtést mutat a 7.3. kép.

A termelt kőszén mennyiségét a 7.2. táblázat mutatja 1765-től 1997-ig. A hazai termelés legnagyobb értéke a hatvanas években: ~31 millió t/év. 1765–1997-ig a termelés meghaladta a az 1,6 milliárd tonnát, amely a jelenleg ismert hazai szénvagyon (~ 10000 millió tonna) ~ 16%-a.⁵

A hazai primér és szekunder energiaforrások fontosabb jellemzőit a 7.3. táblázat foglalja össze.



7.2. táblázat: Magyarország kőszéntermelése

Forrás: Mészáros E.–Schweitzer F. (szerkesztők): Magyar Tudománytár – Föld, Víz, Levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. pp. 297–306.

⁵ Mészáros E.–Schweitzer F. (szerkesztők): Magyar Tudománytár – Föld, Víz, Levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. pp. 297–306.

| | Fűtőérték, MJ/kg, | Nedvességtartalom, % | Megjegyzés |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Fafajták | | | |
| Frissen vágott | 6,8 | | |
| Bükk | 15,12 | 15 | |
| Tölgy | 15,12 | 15 | |
| Akác | 14,76 | 15 | |
| Gyertyán | 15,12 | 15 | |
| Nyár | 15,12 | 15 | |
| Lucfenyő | 15,84 | 15 | |
| Fabrikett | 16–19 | | |
| Pellet | 18 | | |
| Biobrikettek | 14,5 | | |
| Búzaszalma | 15,42 | 6,3 | |
| Kukoricaszár | 15,49 | 6,2 | |
| Napraforgóhéj | 17,22 | 7,1 | |
| Repcse, szója | 14,87 | 8,7 | |
| Fűrészpor | 16,84 | 6,1 | |
| Szenek | | | |
| Lignit | 3,5–10 | | |
| Barnaszén | 10–17 | | |
| Feketeszén | 17–33 | | |
| Szén brikett | 20 | | |
| Koksz | 23,5 | | |
| Kőolaj | 44 | | |
| Benzin | 42,5 | | |
| Gázolaj | 44,5 | | |
| Petróleum | 42,0 | | |
| Földgáz | 39,5 | | |
| PB-gáz | 52,0 | | |
| Hidrogén gáz | 120,5 | | |
| Biodízel | 37 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7.3. táblázat: Primér és szekunder energiahordozók fűtőértéke

Forrás: <http://brikett.ewk.hu/futoertek>

(Égéshő: az a hőmennyiség, amely 1kg tüzelőanyag elégetésekor keletkezik. Fűtőérték: az anyag égéshőjéből kivonjuk a füstgázzal együtt gőzként távozó víz párolgáshőjét. A fűtőérték fogalma csak akkor használható, ha a füstgáz hőfoka magasabb, mint 100 °C.)



7.3. kép: Gyöngyösvisontai külszíni fejtés
Külszíni bánya / Szállítószalag; Széntér / Szénfelszedő; Bánya víztelenítő rendszere
(Fotó: Pitrik J.)

7.1.3. Kőolaj, földgáz

A kőolaj és a földgáz különböző szénhidrogén vegyületek keverékéből áll. A szénhidrogének a tengerekben és tavakban lerakódó üledékek szerves eredetű anyagaiból keletkeznek, betemetődés és magas hőmérséklet (70–150 °C) esetén. A szénhidrogénre a vándorlás jellemző, amely addig tart, amíg a folyékony részek mozgását zárórétegek meg nem akadályozzák. A csapdába került gáz, kőolaj és víz a tároló kőzetekben víz-, kőolaj- és földgáztesteket alkot.

A szénhidrogéneket – mai ismereteink szerint – Mezopotámiában és Kínában használták először: kötőanyagként (aszfalt), víztaszító, világító és fűtési anyagként. Pennsylvániában Edwin L. Drake ezredes 220 m-re fűrt, s onnét naponta 20–25 hordó (42 gallonos (=159 liter)) kőolajat termelt. Hazánkban 1075-ben a szurok, 1309-ben az olaj szavakat említik írásbeli források. 1536-ban éghető „ragacos” földről tesznek említést, azzal a megjegyzéssel, hogy szaga kellemetlen. Megismerésére mind több „energiát” fordítottak, 1860-ban megjelentek az első petróleum lámpák, majd olajfinomítók létesültek, amelyek külföldi olajakat dolgoztak fel. A hazai kutatások és termelés 1937-ben indult el Budafapusztán (=Bázakerettye). Főbb szénhidrogénmezők: Lovászi – 1940, Nagylengyel – 1951, Hajdúszoboszló – 1958, Üllés – 1962, Zsana – 1978, ...^{6, 7}

2007. évi hazai adatokat tekintve:⁸

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| – Földtani kőolajvagyon | 207,0 Mt |
| – Még kitermelhető kőolajvagyon | 19,2 Mt |
| – 2007-ben kitermelt kőolaj | 1,9 Mt |
| – Földtani földgázvagyon | 5307,05 Gm ³ |
| – Még kitermelhető földgázvagyon | 3355,29 Gm ³ |
| – 2007-ben kitermelt földgáz | 2,65 Gm ³ |

7.2. Energiatermelés harmonizálása

A 7.1-ben bemutatott nem megújuló energiahordozók (primér és szekunder) aránya és termelt mennyisége természetesen az emberiség története során különböző okokból kisebb-nagyobb mértékben változott. A közvetlen – lokális – okok mellett közvetett okok is mind nagyobb szerepet kapnak a szerkezet változásában.

⁶ E-jegyzet: Optimalizálás az olajiparban. Pannon Egyetem-BME, 2008. pp. 1–17.

⁷ Mészáros E.–Schweitzer F. (szerkesztők): Magyar Tudománytár – Föld, Víz, Levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. pp. 287–297.

⁸ Magyar Bányászati és Földtani Hivatal: <http://www.mbfh.hu>

A termelt energiának meg kell felelnie a szükségleteknek. Globális egyeztetés nem elegendő, hiszen például a főzéshez, fűtéshez az emberiség története során főként a tradicionális energiahordozók feleltek meg. Az egyensúly hiánya problémafelvetéseket generált, melyre az adott kornak megfelelő válaszokat tudták adni, annak szellemében tudtak beavatkozni.

A harmónia érdekében az alábbi szempontok kerültek előtérbe:

- Az egyes energiahordozók „termelését” a szükségletekhez kell igazítani térben és időben. Ez a problémakör szerzteágazó: ha a gőzmozdonyok üzemeltetéséhez szükséges erdőket kivágták, akkor azt helyettesítő szenek feltárására és bányászatára volt igény. A szén szállításához újabb vasút vonalakat kellett építeni és mind kisebb fogyasztású gőzmozdonyokat kellett konstruálni.
- A különböző energiahordozókhöz való hozzáférési adottságok eltérőek, így egyes helyeken olcsón, nagy mennyiségben tudtak termelni, míg más területeken hiány lépett fel és a költségek egyre magasabbra emelkedtek. Egyszerre volt (van) jelen a túlermelés és a hiány. Ez az állapot vezetett az energia import-export kialakításához, a függőségi viszonyok létrejöttéhez. Ez a folyamat ma is megfigyelhető a földgáz import-export ügyleteknél.
- Folyamatosan újabb és újabb forrásokat kell feltárni és olyan átalakítási technológiákat kell kidolgozni, amelyekkel előállított energiahordozók kiválthatják a hiányt, vagy alternatívát kínálhatnak egyes hordozók „cseréjére”.
- Az energiafogyasztás és az ezzel összefüggő CO₂ szennyezés főbb mutatóit foglaltuk össze az alábbi táblázatban (2004).

| | EU-27 | Magyarország |
|--|---------------------------|---------------------------|
| Egy főre jutó energiafogyasztás | 3689 kgoe/fő | 2591 kgoe/fő |
| Energiaimport függőség | 50,1% | 60,8% |
| CO ₂ kibocsátás | 2,2 tCO ₂ /toe | 2,1 tCO ₂ /toe |
| Egy főre jutó CO ₂ kibocsátás | 8180 kg/fő | 5365 kg/fő |

7.4. táblázat: Energiafogyasztási és szennyezési adatok összehasonlítása

Az energiatermelés-fogyasztás összefüggésben van a különböző földrészek fejlettségével, a lakosság életszínvonalával. A primér tüzelőanyagok felhasználása (1994): Észak-Amerikában 325 GJ/fő/év, Ausztrália-Óceániában 205 GJ/fő/év, Nyugat Európában 136 GJ/fő/év., Közép- és Délamerikában 35 GJ/fő/év, Ázsiában 24 GJ/fő/év, Afrikában 13 GJ/fő/év. Az egyes országok világátlagához viszonyított egy évre eső fejenkénti végső energiafelhasználás arányai jelentősen eltérnek: USA: 4,10; Magyarország: 1,50; Kína: 0,33. Nyugat-Európa: 2,20.⁹

Kérdéstár

1. Melyek a hazai szénhidrogén termelés fontos helyszínei?

- a) Verőce
- b) Sajókaza
- c) Üllés
- d) Kisköre
- e) Hajdúszoboszló

2. Értelmezze az alternatív fakitermelési célt:

- a) Minél több jó minőségű rönk előállítása
- b) Minél több tüzelőanyag előállítása
- c) Minél több 25 cm-nél nagyobb átmérőjű rönk termelése
- d) Minél több 18 cm-nél nagyobb átmérőjű rönk (>15%) termelése
- e) Készletmegőrzés (parkerdő, védősáv)

3. A fabrikett kis lánggal ég (izzik), mert

- a) kicsi a hamutartalma
- b) nagy a sűrűsége
- c) nagy a hamutartalma
- d) nagy a fűtőértéke
- e) kicsi a fűtőértéke

4. Az egyévre eső fejenkénti végső energiafelhasználási arány az egyes országok világátlagához viszonyított érték, MO esetén: ~1,5

⁹ Kovács F.–Lakatos I.: Globális kőolajkészletek és ellátottság a XXI. Században – történeti áttekintés. In: A Miskolci Egyetem Közleményei. A sorozat. Bányászat. 75. kötet (2008). Pp. 65–101.

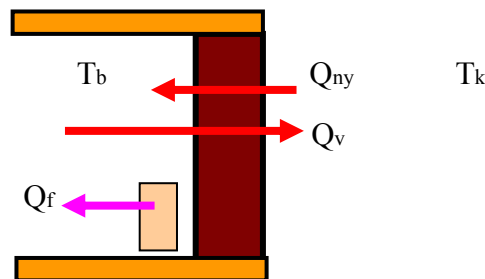
8. Energiatermelő rendszerek üzeme

Az energia „termelését” (=átalakítását) műszaki berendezésekben valósítjuk meg. Az ember sütési-főzési feladatokra tűzhelyeket, fűtés biztosítására: kandallókat, kályhákat alkalmaz.

A klasszikus berendezések szilárd tüzelőanyaggal működnek, de ma már gáz-, olaj-, elektromos működtetésű berendezéseket is alkalmaznak. Az ún. egyedi fűtés esetén a fűtendő helyiségbe szállított kémiai, vagy villamos energiát a helyiségben alakítják át hővé.

8.1. Hőszükségletszámítás alapjai

Az épületekben, a lakásokban kellemes közérzetet (és hőérzetet) kívánunk biztosítani. Az elvárt helyiség-hőmérsékletet (T_b) biztosítására hőt vezetünk be, vagy hőt vezetünk el. Téli, fűtési időszakban a hőveszteség és a hőnyereség különbözetét (a hőszükségletet: Q_f) kell közölni a helyiséggel, hogy az „elvárt” hőmérsékletet biztosítani tudjuk.¹ A hőszükséglet számítását gondolatmenetét a 8.1. ábrán követhetjük.



8.1. ábra: A hőszükségletszámítás elvi ábrája

¹ A hőnyereség (Q_{ny}) adódhat a szomszédos helyiségekből, a talajból-padozatból, a födémből, a Nap sugárzásából; A hőveszteség (Q_v) a falazatokon, födemen és padozaton átáramló hő, amely függ: a felület-elemek területétől, a „falazat” hőátbocsátási tényezőjétől (k) és a belső-külső hőmérsékletkülönbségtől:

$$Q_f = \sum_i^n F_i k_i (T_b - T_k)$$

A szomszédos helyiségek felé irányuló hőveszteséget vagy onnan származó hőnyereséget általában 4 °C hőmérsékletkülönbségnél szokás figyelembe venni.

A helyiség teljes hőveszteségét úgy számolják, hogy különböző pótlékokkal növelik, a Q_v számított transzmissziós hőveszteséget. A hőveszteségszámításnál a speciális adottságokat a következő pótléktényezőkkel szokás figyelembe venni:²

szélpótlék p_1 : normál szél (0,5...3 m/s) esetén: 10%; erős szél (3,5...6 m/s) esetén: 20%;

felfűtési pótlék p_2 : üzemszünetről függően (8...12...16 óra): 10/15/20%;

kürtőhatás pótlék p_3 : szinttől függően: 10%,

égtájpótlék p_4 : É, ÉK, ÉNY esetén: 5%, D, DK, DNY esetén: -5%;

A korrigált teljes hőveszteség (Q_k) egy helyiség esetén:

$$Q_k = Q_v(1 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4) \quad ,W.$$

A helyiségek hőveszteségeit az épület szerkezeti anyagainak és nyílászáróinak hőátbocsátási tényezője alapvetően befolyásolja. A már meglévő épületeket folyamatosan korszerűsíteni és karban kell tartani. Az elmúlt években sok nagyvárosban az ún. panelprogram keretében a házigyári lakások fa ablakait műanyag ablakokra cserélték, falazatait pótlólagos hőszigeteléssel látták el (8.1. kép).



8.1. kép: Szegedi panelházak külső fal felújítása és nyílászáró cseréje (2010)

(Fotó: Pitrik J.)

² Részletesen: Dr Párkányi György: Kályhák kiválasztása, elhelyezése, gazdaságos üzemeltetése. Műszaki Könyvkiadó, 1988. pp. 30–40.

A hőátbocsátási tényezők értékei anyagfüggőek.

Egy hagyományos külső téglafal esetén, vakolattal (38 cm): $1,5 \text{ W/m}^2, \text{ K}$.

Vályogfal (50 cm): $1,5 \text{ W/m}^2, \text{ K}$.

12 cm-es vasbeton födém és 4,5 cm-es hőszigetelés: $0,64 \text{ W/m}^2, \text{ K}$.

Panelfal: $0,8\text{--}1,1 \text{ W/m}^2, \text{ K}$.

Felújított panelfal és műanyag nyílászárók: $0,38\text{--}0,48 \text{ W/m}^2, \text{ K}$.

A fűtőberendezések kiválasztásához a hőszükségletet gyakorlati tapasztalat alapján is meg lehet állapítani. Ekkor a helyiség funkcióját, elhelyezkedését, tájolását szokás paraméterként figyelembe venni. Pl. földszinti helyiségek, déli tájolása esetén: $20\text{...}25 \text{ W/m}^3$ hőszükségletet alkalmazhatunk.³

Feladat

Számolja ki egy házigyári lakás szabadon álló külső oldalfalának hőveszteségét felújítás előtti és felújítás utáni állapotra!

A vizsgált fal felülete: 30 m^2

A régi fal hőátbocsátási tényezője: $k_1 = 0,9 \text{ W/m}^2, \text{ K}$

A szigetelt fal hőátbocsátási tényezője: $k_2 = 0,48 \text{ W/m}^2, \text{ K}$

A lakás elvárt belső hőmérséklete: $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

A figyelembe vett külső (méretezési) hőmérséklet: $t_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$

8.2. Egyedi fűtőkészülékek működése

A lakások fűtéséhez ma még gyakran egyedi fűtőkészülékeket alkalmazunk. Ha mindazon helyiségekben, ahol hőszükséglet van külön berendezést használunk, a lakásban kellemes hőérzetet tudunk biztosítani.⁴

A hagyományos egyedi berendezésekben a tüzelőanyag kémiaiilag kötött energiája az égés során felszabadul. Az égéshez szükséges: az éghető tüzelőanyag, levegő és aktiválási energia (hő). Az égési folyamat egy láncreakció, melynek létrejöttét az aktiválási energia (vagy tüzeléstechnikai nyelven: a gyulladási hőmérséklet váltja ki. Az égés akkor tökéletes, ha a tüzelőanyag részecskéi megfelelő hőfokot elérnek és a levegő minden éghető részecskével (C, H₂, S) találkozik. Az égés

³ Részletesen: Dr Párkányi György: Kályhák kiválasztása, elhelyezése, gazdaságos üzemeltetése. Műszaki Könyvkiadó, 1988. pp. 30–31.

⁴ Amennyiben a lakás helyiségeiből csak egyben, vagy néhányban fűtünk, a kellemes közérzet csorbul, s kedvezőtlen folyamatok is „beindulhatnak”: így nedvességtartalom növekedése, penészesedés, szerves építőanyagok bomlása (vályog), kellemetlen szagok létrejötte, a falazat szilárdságának csökkenése, ...

során keletkező gázok (CO₂, H₂O, CO, NO, NO₂, O₃) mellett, korom, pernye, hamu, salak is keletkezhet.

Az égési folyamat egymástól elválaszthatatlan részfolyamatok együttese. Ezek közül néhány: az égéshez szükséges primér levegőt a szerkezeti anyagok és a már részben elégett tüzelőanyag maradványok előmelegítik; az aktiválási hő előállítására könnyen éghető anyaggal (pl. gyújtóssal); a tüzelőanyag előmelegítése a szerkezet és a füstgáz által; a füstgáz és a sugárzó hő felmelegíti a hőtermelő falazatát; a falazat hője hőátadás révén a „kályha” külső felületére jut; a felület sugárzás / kontakt hőleadás / konvekció révén átadja a hőt a környezetnek, a füstgáz felmelegíti a kémény falazatát és környezetét és a szabad térbe jut; a füstgáz ún. transzmissziós folyamatban vesz részt, mely során légszennyezőanyag tartalma hígul, átalakul.

Mivel a berendezés által termelt hő a helyiségben hasznosul, tüzelési „vesztésnek” csak a kémény felületén és a kéményen át távozó füstgázhőt tartjuk. Természetesen nem minden éghető anyag fog elégni, ezért az ez által képviselt hőt le kell vonni a bevitt hőből. A rendszerre vonatkozó tüzeléstechnikai hatásfok:

$$\eta = \frac{E_h}{E_b}$$

Ahol: E_h – a hasznos energia, E_b – a bevezetett energia.

Természetesen a hatásfok nem állandó, például terheléscsökkenés esetén a hatásfok csökken. Ennek következménye, hogy az igénynek megfelelő kapacitású hőtermelőt kell üzemeltetni.

8.3. Egyedi fűtőkészülékek

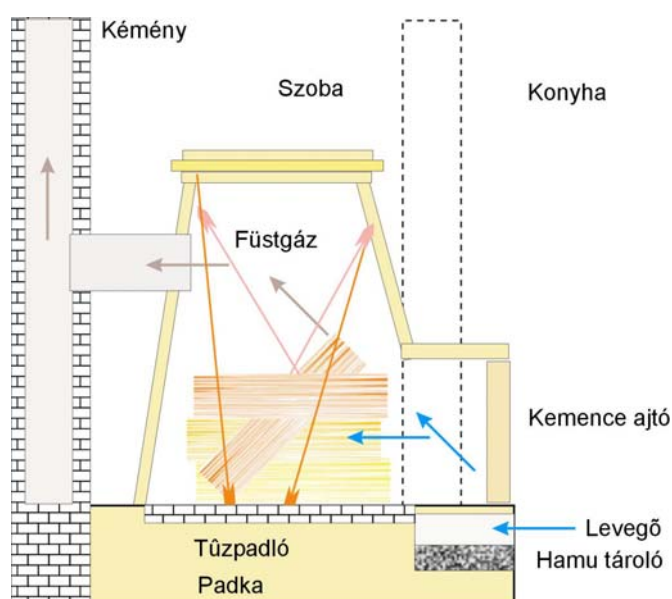
8.3.1. Kemence

A kemence a magyar tanya jellegzetes sütő-főző fűtő rendszere. Lángkemence, azaz a tüztérben nagy lánggal égő természetes anyagokat, melléktermékeket tüzelnek el: szalmát, kukorica szárat (=száríziket), kukorica tövet, kukorica csutkát, venyigét.

A kemence szakaszos „üzemmódban működik: felfűtik, a láng látható tartományba eső fénysugárzása a boltívről visszaverődik és a téglából (esetleg tűzálló samott) álló tűzpadlót felmelegíti. A tüzelőanyagot elégése után a hamutérbe húzzák ki, majd a kemence tüztérét kisöprik és a kenyeret bevetik, vagy az ételt

edényekbe behelyezik. A boltíves részt készíthetik agyagból, törekes agyagból, téglából, cserépből.⁵

A kemence elsősorban főző-sütő berendezés, ezért a kemence ajtó (törekes agyagból készült félkör alakú tárcsa) a konyhára néz. A felfűtést is itt végzik. A kemence „test” a tisztaszobában helyezkedik el, gyakran egy sarokban. A kemencét „ülő alkalmatossággal (padkával) építették meg. Melegedni csak kontakt hőátadás révén, nekítámaszkodva lehet. A kemence a szoba felfűtésére alkalmatlan, mert a felületi hőmérséklete alacsony. (8.2. ábra, 8.2. kép, 8.3. kép.)



8.2. ábra: Kemence működési elve (Szerkesztette: Pitrik J.)

8.3.2. Kandaló

A kandaló tipikus fűtőberendezés, amelynek belsőépítészeti térformáló szerepe is van. Hagyományosan nyitott tűzterű, falazott rendszer, amely a kéménnyel gyakran egy egységet alkot. Tüzelőanyaga a fahasább, melynek lángja sugárzó hő bocsát ki és a kandaló előtt tartózkodókban kellemes hőérzetet vált ki. Konvekciós hatás minimális. Egyre inkább terjed a öntöttvasból készített, üvegajtóval ellátott kandaló. A kandaló nem csak nagy terű helyiségekben, hanem szabadtéren is használható (8.4. kép).

⁵ Szeged környékén vesszőből készített vázszerkezetet tapasztják meg törekes agyaggal. A belső térbe a sugárzó hő jobb hasznosulása érdekében üvegcserepeket nyomnak.



8.2. kép: Kemence, mint kontakt hőleadó



8.3. kép: Elhagyott tanyák kemencéi. (Fotó: Hegedűs A.)



8.4. kép: Kandallók. (Fotó: Pitrik J.)

8.3.3. Cserépkályha, kandalócserepkályha

A cserépkályha kályhacsempékből gyártott falazott, nagy felülettel rendelkező fűtőberendezés, amelynek tüzelőanyaga lehet: fa, szén, gáz. Általában több huzammal rendelkezik. Kontakt és konvekciós hőátadást valósít meg.

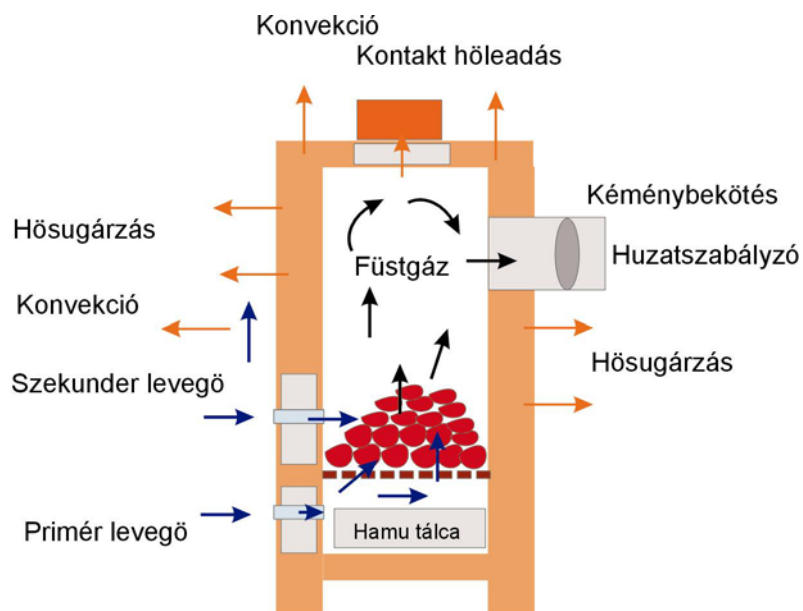
A kandalócserepkályha egy öntöttvas kandalóbetétből és a köré épített falazott cserépkályhából áll. Tüzelőanyaga: a tűzifa, melynek sugárzó hője felmelegíti a cserépkályha falazat belső felületét és az üvegajtón keresztül hősugárzás érvényesül. A kandalóbetét és a cserépkályha közötti levegő felmelegszik és a kályha szellőzőnyílásán keresztül feláramlik, ezzel konvekciós körforgást hoz létre. (8.5. kép)

8.3.4. Kályha

A kályha klasszikus tüzelőeszköz, melynek számtalan szerkezeti változata ismert: egyszerű lemez (dob) kályhák, egyaknás öntöttvas kályhák, egy és kétaknás falazott kályhák. Tüzelőanyaga lehet: tűzifa, pellet, fűrészpor, szén (barnaszén, iszap-szén, brikett, koks), tüzelőolaj, bropán-bután gáz, földgáz. A kályha fő szerkezeti részeit és működésének elvét a 8.3. ábra szemlélteti.



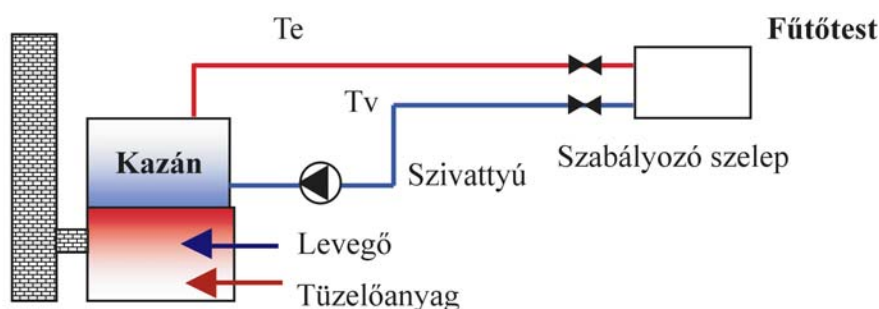
8.5. kép: Kandallócserepkályha. (Fotó: Pitrik J.)



8.3. ábra: A kályha szerkezete és működése (Szerkesztette: Pitrik J.)

8.4. Központi fűtőkészülékek működése

Az egyedi fűtés munkaiigényes, teret foglaló és költséges megoldás, de a legfőbb ok, amiért évezredek óta központositott rendszerek tervezésére és megvalósítására törekedtek, az, hogy a fűtőberendezés folyamatosan, „rejtve” működjön. Ehhez az egyedi fűtőberendezés három funkcióját: a *hőtermelést*, a *hőszállítást* és a *hőleadást* szét kell választani. A fűtési rendszer egyik lehetséges megoldását a 8.4. ábra szemlélteti.



8.4. ábra: Melegvíz központi fűtés elve (Szerkesztette: Pitrik J.)

A tüztérben elégetett tüzelőanyag (gáz, fa, szén, olaj) felszabadult hője felmelegíti a kazánban lévő vizet, melyet melegvíz, forróvíz vagy gőz formájában a fűtőtestbe vezetjük. A fűtőtest leadja a hő egy részét a környezeti levegőnek, miközben lehűl. A lehűlt vizet egy szivattyú segítségével nyomjuk be a kazán vízterébe.

A kazán tüztere és víztere egységet alkot, a víztér lehet egy kazándob, egy csővezeték-rendszer vagy a kettő kombinációja. A csővezetékben áramló víz hőmérsékletét az égés szabályozásával, illetve a víz mennyiségi szabályozásával lehet kézben tartani.

A hálózat lehet: egyszintes, két vagy többszintes. A többszintes rendszer lehet: felső-, alsó és vegyes elosztású. Többszintes rendszereket egycsöves vagy kétcsöves szerkezetben tervezik.

A fűtőtestek hőleadása lehetséges: konvekcióval, konvekcióval és sugárzással, sugárzással és kontakt módon. Konvektor: olyan fűtőtest, mely főként konvekcióval (70–90%) adja le a hőt. Radiátor: esetén a konvektív / sugárzó hő aránya ~60/40%, sugárzó fűtőtestek esetén 90/10%.

A központi fűtésrendszer méretezésének alapelvei megegyeznek az egyedi fűtésnél bemutatott eljárással.

8.5. Központi fűtések

A központi fűtésekre vonatkozó fenti leíráson túl néhány fontos jellemzőt és műszaki megoldást emelünk itt ki.

A központi fűtések a kiterjedésük nagyságával is lehet jellemezni. A legegyszerűbb megoldás az ún. *lakásfűtés*. A hő előállítás, elosztása és leadása egy lakótérben történik. Ide sorolhatók azok a lakóház fűtések is, melyekben egyetlen lakás van. A *házfűtés* többszintes, egy közös hőelőállító (hőcserélő) berendezéssel rendelkezik. Ezeket a tetőtérben vagy a pinceszinten szerelik. Működésük automatikus. Lakótelepek, nagyobb lakóegységek fűtésére használják a *távfűtést*, városrészek fűtési rendszere a *városfűtés*. A központi fűtés ezen nagyrendszerek tervezése során energetikai, biztonságtechnikai és gazdasági szempontokat vesznek figyelembe.

A távfűtéses rendszerekhez kapcsolt házak fűtését gyakran függetlenül kívánják üzemeltetni, ilyenkor olyan hőközpontokat alakítanak ki, amelyek hőmennyiség mérővel (és gyakran a radiátorokon hőmennyiség elosztóval van ellátva).

A hagyományos központi fűtőrendszereket gravitációs fűtésként alakították ki, ma már az anyagtakarékosabb szivattyús fűtések alkalmazásának.

A fűtési rendszereket biztonsági berendezésekkel (biztonsági szelepekkel, hasadó tárcsákkal, szintmérőkkel, hőmérőkkel, légbeszívókkal és tágulási tartállyal) kell felszerelni.

8.6. Egyedi és központi energiatermelő rendszer üzeme

A fűtés alapvető célja a kellemes közérzet biztosítása. Ezt ésszerű takarékosággal szeretnénk biztosítani. Esetenként eltérünk az „ideális” hőmérséklettől (Pl. szelőlőztetéskor, főzéskor, éjszaka, elutazáskor,...), de általában kerüljük a túlfűtést.⁶

Egyedi fűtés esetén a szabályozást a tüzelés tudatos irányításával, a helyiség hőmérséklet és a hőérzetünk figyelésével, a kályha-levegő és huzat célszerű beállításával érhetjük el. A helyiség fűtése *szakaszos*, mert kezdeti felfűtést egy állandósult üzem, majd egy lehűlési folyamat követi. A kezdetben közölt többlet hő egy része a falakat felmelegíti, így a lehűlést a falakban tárolt hő késlelteti. Ez a hőmérsékletváltozás a falakban jelentős hőingadozást okoz. A túl nagy hőingadozás a padozat, a bútorzat, az ember számára sem kedvező.

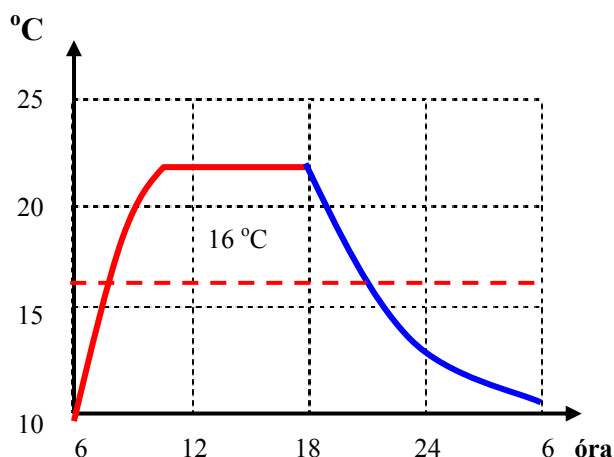
⁶ Dr Párkányi György: Kályhák kiválasztása, elhelyezése, gazdaságos üzemeltetése. Műszaki Könyvkiadó, 1988. pp. 24–25

Központi fűtés esetén az egész házra, lakásra vonatkozóan egyenletes, *folyamatos*, szabályozott fűtést tudunk megvalósítani, így a felfűtési veszteségektől eltekinthetünk. Az állandó hőmérséklet biztosítása nem minden esetben szükséges, ezért akár egy napon belül különböző igényeknek megfelelő *programozott* menetrend biztosítható.

Természetesen az egyedi fűtés esetén is megvalósítható a folyamatos, illetve a programozott menetrend (Pl. gázkonvektor, elektromos kályha, szabályzott olajkályha esetén).

A fűtési menetrendek alaptípusait a 8.5. ábra és a 8.6. ábra szemlélteti.

A központi fűtés egy nagyszisztéma, amely általában egy hőtermelő berendezésből, egy kiterjedt csőhálózatból és különböző szinteken elhelyezett hőleadókból áll. Klasszikus esetben a hőleadók homogének, de ma már radiátorok, csőregiszterek, padló / fal hőleadók változatos rendszere alkotja.

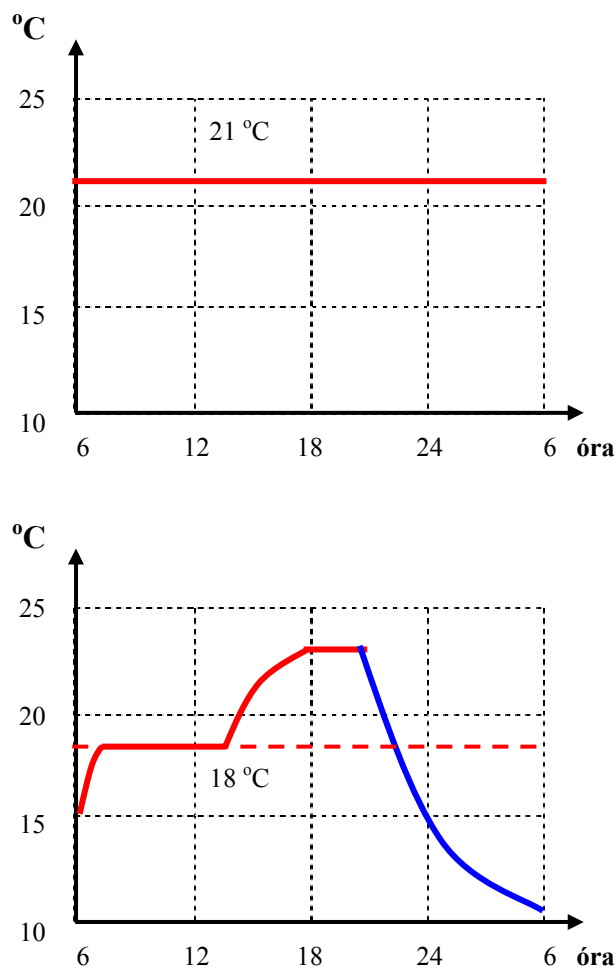


8.5. ábra: Fűtött helyiség napi hőmérséklete – szakaszos fűtés
(Szerkesztette: Pitrik J.)

8.6.1. Stacioner és instacioner állapot

A fentiek alapján érzékelhető, hogy a fűtés elsősorban a környezeti meteorológiai állapot (hőmérséklet, páratartalom, szélsebesség,...), az épület tájolása, az épület szerkezeti tulajdonságainak, a fűtőrendszer működési jellemzőinek és az egyéni igénynek a függvénye.

Szakaszos fűtési menetrend esetén a felfűtés során bevezetett energia egy jelentős része a tüzelőanyag előmelegítésére, meggyújtására, és a fűtési rendszer előmelegítésére szolgál. Az égés kezdeti szakaszában a veszteségek jelentősen nőnek: sok az elégetlen tüzelőanyag, a füstgáz koromtartalma magas, hőmérséklete alacsony. Ez a szakasz a füstgáz vizsgálatával követhető. A kezdeti instacioner szakasz után kialakuló kvázistacioner állapotban a veszteségek csökkennek, a hővesztésekkel arányos hőleadás történik.

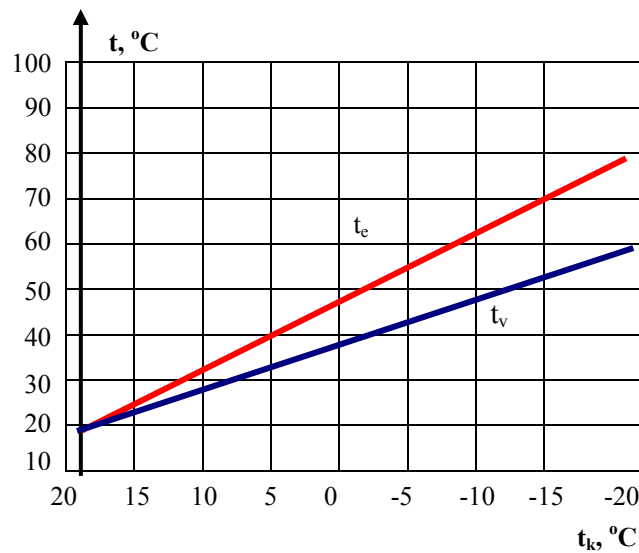


8.6. ábra: Fűtött helyiség napi hőmérséklete – folyamatos / programozott fűtés
(Szerkesztette: Pitrik J.)

Folyamatos fűtés esetén lényegileg csak a hőveszteséget kell pótolni, ez azonban napi-havi-évi intervallumban is lényegileg a T_b és a T_k különbségétől függ. Ez természetesen azt jelenti, hogy instacioner, vagy kedvezőbb esetben (lassú változások esetén) kvázistacioner üzemmód áll fent.

A programozott fűtés ad megoldást a legkedvezőbb hőtechnikai tulajdonságok elérésére. Minimalizálhatók a veszteségek és a költségek.

A probléma és az összefüggések feltárását segíti a 8.7. ábra, amely egy melegvizet központi fűtés szabályozási diagramját mutatja egyszerűsített formában.



8.7. ábra: Központifűtés szabályozási diagram elve

Kérdéstár

1. Melyek az égés feltételei:

- Éghető anyag
- Égési hőmérséklet
- Gyulladási hő
- Oxigén
- A tüzelőanyag kis nedvességtartalma

2. Mely részfolyamatok nem játszódnak le az égés során

- a) A primér levegőt a berendezés szerkezeti anyagai előmelegítik
- b) A primér levegőt a tüzelőanyag maradványok előmelegítik
- c) A füstgáz és a sugárzó hő felmelegíti a berendezés falzatát
- d) A szoba levegője a kályha tetejének résein beáramlik a kályha térbe.
- e) Az áramló füstgázban lévő szénmonoxid korommá alakulhat

3. Melyik állítás az igaz

- a) A kemencében nagylángú tüzelőanyagot kell használni
- b) A kemencében kislángú tüzelőanyagot kell használni
- c) A kályhában nagylángú tüzelőanyagot kell használni
- d) A kemencét nem lehet főzésre használni
- e) A kandalló csak konvekcióval adja le a hőt a környezetében
- f) A kályhában az égéshez szükséges levegőt csak egy helyen vezetik be

4. Az égéstérben a tüzelőanyag ...kémiai...kötött energiáját szabadítjuk fel. Lényegileg egy ...láncreakció... játszódik le, melynek elindításához a ...gyulladás vagy aktiválási...hőt kell közölni.

9. Centralizált és decentralizált energetikai rendszerek és együttműködésük

A 7–8. fejezetekben vázlatosan bemutattuk – történeti aspektust is érintve – a legfontosabb (nem megújuló) primér energiaforrásokat, ezek keletkezésének és felhasználásának legfontosabb területeit, valamint azokat a berendezéseket, amelyekben ezeket átalakíthatjuk igényünknek megfelelően.

A bemutatott rendszerek hőtermelő berendezések, amelyek – mérsékelt égővi – életünk meghatározó eszközei. Az energiatermelés az energiafelhasználás igényeit „szolgálja”, az összes energiaszükséglet 60–70%-át adja a hőfejlesztés.

9.1. Hővé való átalakítás módszerei¹

9.1.1. Természeti hő közvetlen hasznosítása

A Nap energiájának Föld felszínén számítható átlagos besugárzási teljesítménysűrűsége: 150 W/m^2 . A sugárzó energia közvetlen hőhasznosítására csak kis berendezésekben van lehetőség, mert az energiasűrűség rendkívül kicsi. Elsősorban szárításra, aszalásra, fóliasátorban, üvegházban és építményekben hasznosítható (9.1. kép). A hő nagy felületekről való koncentrációja jelenleg csak kísérleti stádiumban van. Ennek ellenére a Nap energiájának hasznosítása egyre inkább a középpontba kerül. Olyan berendezések létesítésére kell törekednünk, melyek versenyképesek a nem megújuló energiák hasznosításával.

Hazánkban a napenergia hőként való hasznosításának egyik fő területe – az üvegházhatás hasznosításával – a fóliasátras termelés. A látható sugárzás bejut a sátothárba és ott a talajról, a fólia felületéről és a növényekről hősugarak formájában verődik vissza, közben felmelegíti a légteret. Üvegházak esetén további energiahasznosítási lehetőségek és technológiai megoldások is lehetségesek (9.2. kép).

Ugyanezt a jelenséget használja fel a napkollektor, amely segítségével használati melegvizet (HMV) lehet előállítani és átmeneti időszakban fűteni lehet. Kialakításai közül a legismertebb síkkollektor és vákumcsöves kollektor (9.3–9.4. képek).

¹ Vajda György: Energiapolitika. Magyar Tudományos Akadémia, 2001. pp. 16–39.



9.1. kép: Kerti aszaló berendezés



9.2. kép: Üvegház energia ellátása és felhasználása



9.3. kép: Síkkollektor modell mérőeszközökkel

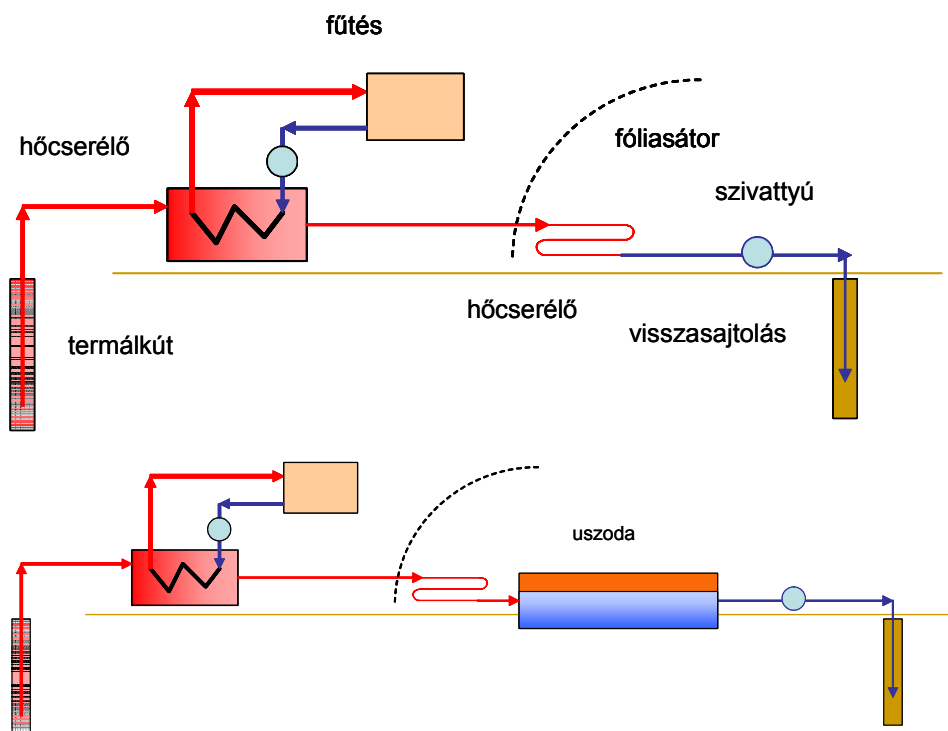


9.4. kép: Vákumcsöves napkollektor: Hortobágyi Nemzeti Park Látogatóközpont

A Földkéreg geotermikus energiája a földkéreg és a földköpeny radioaktív bomláshőjéből (60%), a felső köpeny kristályosodási folyamataiból (10%) és a magban lezajló kémiai folyamatokból (30%) ered. Az átlagosan figyelembe ve-

hető hőmérsékleti gradiens kontinens átlaga $3\text{ °C}/100\text{ m}$, hazánkban: $5\text{ °C}/100\text{ m}$. A hőfluxus értéke: $0,09\text{--}0,1\text{ W}/\text{m}^2$, illetve $0,062\text{ W}/\text{m}^2$. Ennek a hatalmas energiának csak a koncentrált részét (termálhő) tudjuk hő formában hasznosítani.

A két természetes erőforrás együtt nem éri el az 1% hasznosítást az összes energiához viszonyítva. Az utóbbi időszakban jelentős műszaki fejlesztések történtek a megújuló energiák hasznosítására. A 9.1. ábra a termálvíz hőhasznosításának két lehetőségét szemlélteti.



9.1. ábra: Termálvíz hőhasznosításának két megoldása

9.1.2. Tüzelőanyag égetése, a hő hasznosítása

A termikus energiaátalakítás legegyszerűbb módszere a tüzelőanyag elégetése és a keletkezett hő közvetlen, vagy hőhordozó közvetítésével való hasznosítása. A primer energiaforrás: tűzifa, szén, kőolaj származékok, hulladék. Az előállítás főbb berendezései: tüzelőberendezések, külső és belsőégésű motorok. A hőhordozó lehet: levegő, víz, gőz, gáz, speciális folyadék, ... Az összes felhasznált hő $\sim 87\%$ -át ezzel a módszerrel állítjuk elő.

9.1.3. Nukleáris hőfejlesztés és a hő hasznosítása²

Ellenőrzött és szabályozott módon atomerőművekben tudunk hőt előállítani. A reaktor üzemeltetésére olyan „fűtő”anyagokat használnak, amelyekben egy neutron kötési energiája elegendő egy újabb hasadás létrehozásához. Ezek: az urán 235, amely a természetes uránban 0,715%-ban fordul elő; az urán 233, amely a tórium 232-ből keletkezik a reaktorban; a plutónium 239-ből, amely az urán 238-ból keletkezik a reaktorban. A kiégést az egy tonna hasadóanyagra eső energiatermeléssel (MWnap/tonna) vagy a hasadásban résztvett urán 235-ös %-os arányával fejezik ki. Jól jellemzi az atomerőmű és a hagyományos szén-erőmű közötti különbséget: 1 kg szén CO₂-vé való égése során 9,3 kWh hő szabadul fel, míg 1 kg urán 235-ös hasadásakor (kiégésekor) $2,9 \cdot 10^7$ kWh keletkezik.

Hazánkban az összes felhasznált hő ~12%-át nukleáris energiahordozóval állítjuk elő. Hazai viszonylatban ez a Paksi Atomerőmű 4 blokkjának hőtermelését jelenti. Ezt a hőt villamos energia előállítására használjuk fel. A folyamat primér szakasza a hő előállítása a reaktorban, amelyet (nyomottvízes rendszer esetén) hőcserélő berendezésben a szekunder gőzkörbe adjuk át, mely a gőzturbinában forgó mozgássá alakul, s ez a mozgás hozza létre a generátorban a magasfeszültségű villamos energiát, melyet elektromos rendszereken (transzformátorok alkalmazásával) szállítunk a fogyasztóhoz. Az energialánc elemeinek harmonikusan együtt kell működniük.

9.1.4. Hő előállítása egyéb módszerekkel

A hő előállításának legkellémesebb módja, a villamos energiából való hőnyerés. A villamos hőfejlesztés történhet: ellenállásfűtéssel, ív képzéssel, indukciós elven, infravörös sugárzással, mikrohullám alkalmazásával, lézeres hőközléssel.

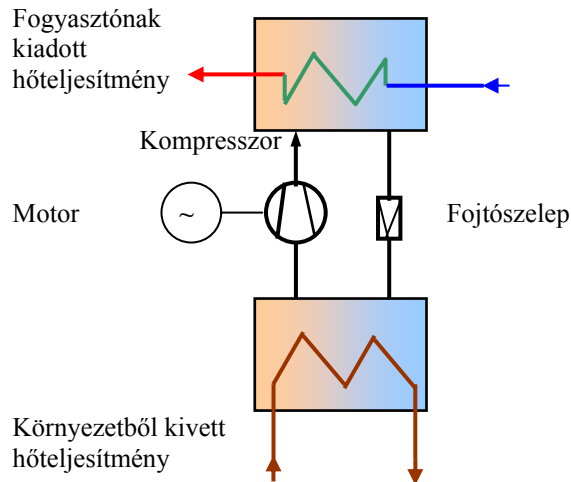
Feladat

Keressen 3-3 példát a villamosenergiából való hőnyerési elvekre!

Az utóbbi évtizedben egyre jobban terjed a hőszivattyú alkalmazása. A talajban, vízben, vagy levegőben tárolt hőt a hőszivattyú segítségével magasabb hőfokszintre emeljük villamos energia bevezetésével (9.3. ábra).

A két eljárással az összes felhasznált hő ~1%-át tudjuk előállítani.

² Bernhard Bröcker: SH atlasz, Atomfizika. Springer-Verlag, Budapest, 1995. pp. 202–223.



9.2. ábra: Hőszivattyú működésének elve

9.2. Mechanikai munka előállítás módszerei

Az emberiség történetének kezdetén már nagy szerepet játszott a „gép” létrehozása.³ A gép megkönnyíti az ember munkáját. Az ember tudatosan kereste azokat a módszereket, amelyekkel hatékonyan tud mechanikai munkát létrehozni és alkalmazni. Az ember az összes energiafelhasználásának 20–30%-át fordítja mechanikai energia előállítására.

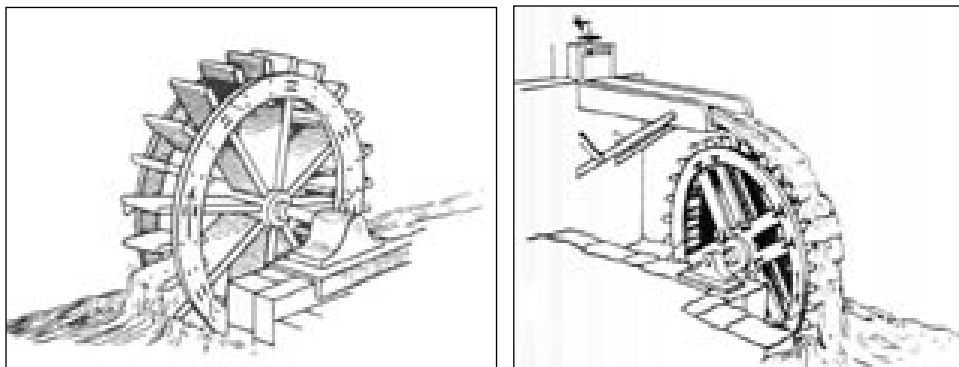
9.2.1. A víz energiájának hasznosítása

Az áramlatokat, vízfolyásokat szállításra, közlekedésre az ember régóta alkalmazza. Az emberi és az állati munka kímélésére törekedett, így a víz energiáját gépek működtetésére kezdte használni. Kezdetben egy erőgéppel egy munkagépet (kovácműhely: kalapács, fűjtató; kőtörő; malom; textilgép; esztergagép; fűrészgép, ...) hajtott meg, később a transzmissziós hajtás alkalmazásával egy nagyobb teljesítményű erőgépről több munkagépet működtetett. A két klasszikus vízkerék típus: a *felülcsapott* (amelyet a „dobozokba” belefolyó víz súlyereje működtet) és az *alulcsapott* (melyet a fellépő az impulzuserő nyomatéka hajt).⁴ A vízkerekek

³ Klasszikus értelemben a gép olyan rendszer, amelyben mechanikai energiaátalakítás történik.

⁴ Az alulcsapott vízkerék hatásfoka kisebb, mint 10%. Részletesen. Pattantyús Ábrahám Géza: A gépek üzemtana. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983. pp. 252–260.

kis teljesítményük miatt, az ipari forradalmat követő időszakban már nem feleltek meg az igényeknek (9.5. kép, 9.6. kép).



9.5. kép: Felülsapott és alulsapott vízkerék működési elve



9.6. kép: Felülsapott és alulsapott vízkerék modellje

9.2.2. A szél energiájának hasznosítása

A szél energiája jól ismert az ember előtt, hiszen károkat, katasztrófákat okoz a természeti és a művi „alkotásokban”. Ez döbentette rá az embert, hogy keresse a szél energiájának hasznosítási lehetőségeit. Így születtek meg a szélenergia gépek, melyek csak kiegészítő erőforrásként, szolgáltak időszakosságuk és változó erejük miatt. Ezek csak a kis magasságú áramlatokat hasznosították. Jellemző típusa a Holland szélkerék, mely a tengerparti szelet hasznosította és festékmalomként, gabonaőrli malomként, zsilipeket működtető erőgépként hasznosítottak (9.8. kép).



9.7. kép: Szélmalom hajtóműve – Ópusztaszeri Nemzeti Emlékpark

9.2.3. Hőerőgépek

Ebbe a családba soroljuk mindazon erőgépeket (motorokat), melyek kémiai kötött energiából (tüzelőanyagból) mechanikai energiát állítanak elő. A külső- és belsőégésű motorok ma már az élet minden területén használatosak, de legfőbb felhasználója a közlekedés (66%), az egyéb felhasználók (~34%) közül a legjelentősebbek a darabolás, a rakodás, az emelés, mozgatás gépeinek működtetése.

9.2.4. Villamos motorok

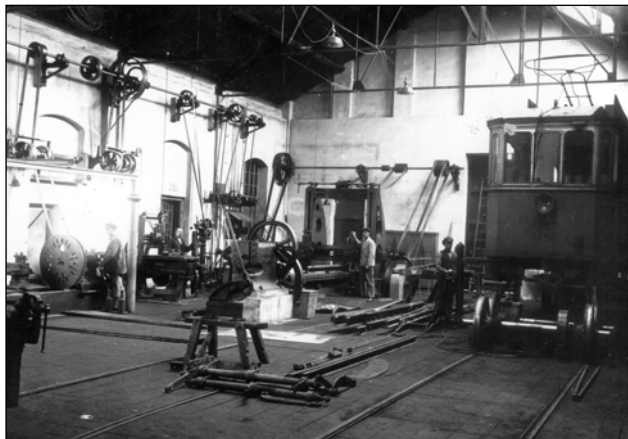
A villamos motorok a különböző módon előállított villamos energiából mechanikai energiát állítanak elő. Az utóbbi 100 évben jelentős mértékben elterjedtek, amelyet elsősorban jó erőtani tulajdonságaiknak, jó szabályozhatóságuknak, kedvező méreteiknek, árfekvésüknek és jó hatásfokuknak köszönhető. Az első energetikai vertikumok (Pl. gőzkazán → gőzgép → generátor → villamos hálózat → fogyasztók (világítás, villanymotor, ...) szűk területeket fedtek le, később a villanytelepek, majd a villamos hálózati rendszerek tették lehetővé a villanymotorok általánossá válását.⁵ (9.7. kép)

9.2.5. Egyéb rendszerek

A mechanikai munka előállítására további közvetlen és közvetett eljárásokat fejlesztettek ki, de ezek általában csak szűk körben használatosak. Néhány ismer-

⁵ Részletesen: 100 éves a Dél-Aföldi Áramszolgáltatás. Délmagyarországi Áramszolgáltató Rt., Szeged, 1995. p. 472.

tebb elv: a lendítőkerék tárolt energiájának, a súlyerőnek, a rugóerőnek, a folyadék és a levegő energiájának hasznosítása, a sugárhajtómű alkalmazása.



9.8. kép: Műhely transzmissziós hajtással (Szeged)

9.3. Centralizált és decentralizált rendszerek

A fejezet eddigi részeiből érzékelhető, hogy az energiatermelés és ellátás több szintű, egymással lazább vagy szorosabb kapcsolatban lévő rendszereket jelent, melyek különböző „területeket” szolgálnak, vagy szolgálhatnak ki.

A Nap energiája szórt formában – az időjárástól függően – hasznosítható. Ez az energia hasznosítható napelemmel (5–15% hatásfokkal). Jelenleg a világ összes villamosenergia felhasználásának csak ~1%-át állítják elő ily módon. Ennek az energiának „kézzel fogható” hasznosítására óriási felületeket kellene kialakítani. Ezzel létrehozható energia reálisan csak lokális igényeknek tud megfelelni.⁶ A másik lehetőség, hogy szintén nagy földi felületeken tükrök segítségével koncentráljuk az energiát, és technológiai vagy energetikai (ST = Szolártermikus erőmű) célra hasznosítjuk. A Naptorony nagy földi felületeken létesített „napkollektor”, amelyenél a felmelegedett levegő a magas kéményben nagy sebességgel áramlik, s ez légturbinát hajt, melynek mechanikai energiáját generátor alakítja villamos energiává. Mindhárom eljárás rendkívül költséges.

A geotermikus energia termálvíz technológiákkal való hasznosítása során olyan helyeket keresnek, ahol a hő koncentrálódik, s ezt rendszerint centralizált „fogyasztókkal” hasznosítják. Ha a kút üzeme hosszú távon biztosítható és az

⁶ Részletesen: Dr. Giber János: Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest, 2005.

„elhasznált” termásvíz környezetbarát módon kezelhető, az eljárás hatékony és gazdaságos.

A talajban, vízben, levegőben tárolt hő hőszivattyú segítségével magasabb hőfokszintre emelhető és általában gazdaságosan hasznosítható. A szonda rendszer – néhány speciális esetet kivéve (magas hőfokú csatorna, csurgalékvíz) – az átlagos eloszló hőt hasznosítja egy koncentrált rendszerben (családi házban). Az így nyert hő általában csak kiegészítő fűtésre elegendő.

A hőtermelés nyersanyagait nyerhetjük dekoncentrált rendszerekből (erdők, termőföldek) és koncentrált bányákból, kutakból. A hőtermelés berendezései gyakran dekoncentráltan elhelyezkedő hőtermelők–hőleadók: kályhák, kazánok, melyeket viszonylag rossz hatásfokkal üzemeltetnek a kevésbé hozzáértő tulajdonosok. A nagy rendszerek: házak, lakótelepek, városok, erőművek működtetése szakszerűen, jó hatásfokkal megoldható. A probléma rendszerint a kapcsolódó távvezetékekkel van, melyek veszteségei „elfogyaszthatják” a koncentrált rendszer adta előnyöket.

A nukleáris hőtermelés és hasznosítás egy többszörösen centralizált nagyrendszer, amely rendkívül szigorú – nemzetközileg egyeztetett – protokoll szerint működik. Ez a rendszer gazdaságosan, biztonságosan üzemeltethető. A környező lakosság bizonytalansága egyrészt a „monstrumból” fakadó félelemből, másrészt a szakmai tájékozatlanságból eredhet. A probléma kezelése egyre nagyobb odafigyelést igényel.

A mechanikai energiaellátás esetén is többféle rendszerrel találkozhatunk.

A vízkerekeket a patakok, folyók legjobb adottságú helyeire telepítették, s a nyert mechanikai energiát közvetlenül, a kerék mellé telepített műhelyben hasznosították. Lényegileg az erőgép és a munkagép tökéletes koncentrációját valószínűsítették meg.

A szélkerekek esetében hasonló módon biztosították az erőgép–közlőmű–munkagép koncentrációt.

A hőerőgépek a legváltozatosabb energiaátalakítást biztosítják. A helyhez kötött nagy rendszerek esetén biztosítani kell a tüzelőanyaggal való egyenletes ellátást, ezért tartalékolni, pufferalni kell a tüzelőanyagot. A termelt energiát (rendszerint villamos) továbbítani kell a decentralizált fogyasztókhoz.

A mobil rendszerek általában rendkívül bonyolultak, különféle elven működnek (gépjárművek, hajók, repülőek, rakéták, űrhajók, ...). Ha csak a gépjárműveket vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy itt teljes körű a dekoncentráció: különböző

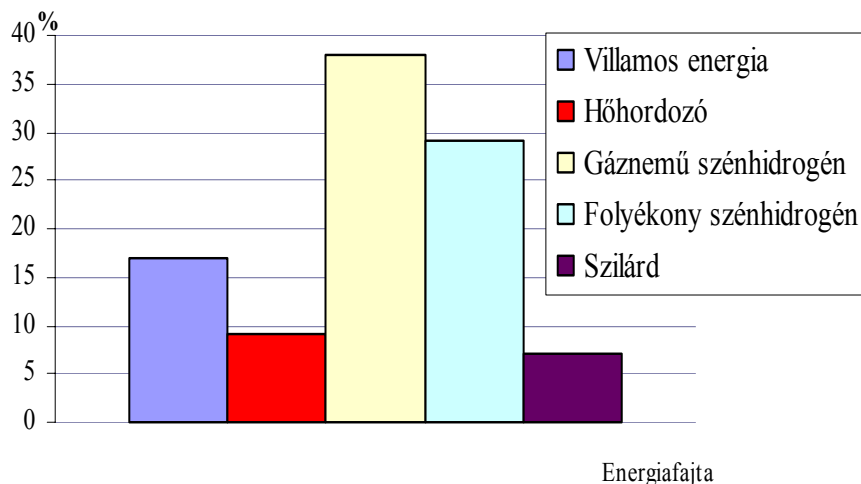
üzemanyagokat használó, különböző elven működő, különböző terhelésnek kitett, különböző útvonalakat bejáró eszközökről van szó. Az üzemeltetők hozzáértése eltérő, így a környezeti hatások nehezen felmérhetők. Az ilyen bonyolult, többszörösen decentralizált rendszerekről korrekt adatokhoz csak modellezéssel juthatunk. A gyártók figyelembe véve a felhasználók eltérő „hozzállását és szakértelmét” a modernizálásra, a számítógépes folyamatirányításra, a biztonságos üzemeltetésre fektetik a hangsúlyt.

A villamos motorok a kiterjedt, villamos hálózathoz nyelik a felhasználás helyén a szükséges energiát. Mivel a felhasználás rendkívül széleskörű, a hatásfokok, a beruházási és üzemeltetési költségek eltérőek. Például: ha egy régi háztartási hűtőgép villamosenergia fogyasztását lemérjük, megfigyeljük, kiszámítjuk, kiderülhet, hogy jobban járunk, ha egy korszerűbb berendezésre cseréljük.

9.4. Az energia „végső” felhasználása

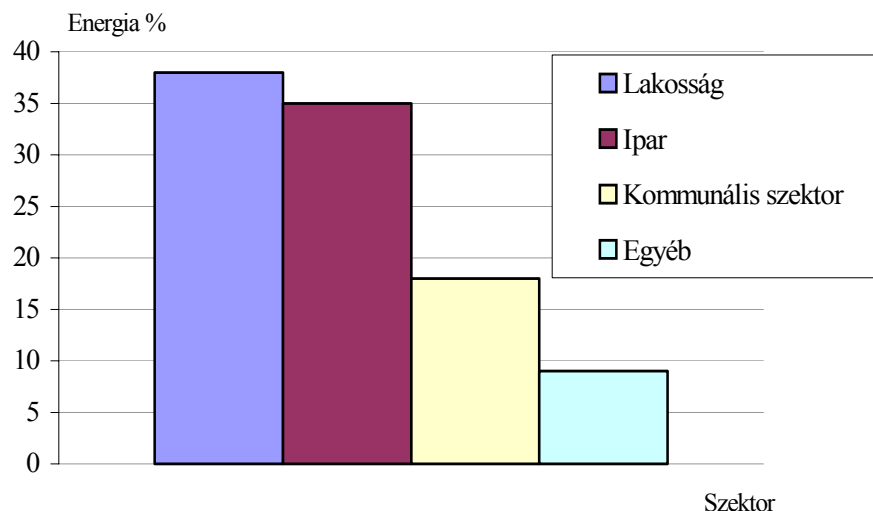
Az energiaellátás legfontosabb követelménye, hogy az energiahordozónkénti energiatermelés és fogyasztás egyensúlyát folyamatosan biztosítani tudjuk. Ez azt is jelenti, hogy az energia export–import az egyensúly biztosításának fontos eszköze. Másrészt az is fontos, hogy egyre több berendezést úgy alakítsanak ki, hogy többféle üzemanyag alternatív fogadására legyen alkalmas.

Az energiafajták szerinti végső felhasználást a 9.3. ábra, az energia szektorok szerinti végső felhasználását a 9.4. ábra szemlélteti.⁷



9.3. ábra: Energiafajták végső felhasználása hazánkban

⁷ Vajda György: Energiapolitika. Magyar Tudományos Akadémia, 2001. pp. 16–39.



9.4. ábra: Energia szektorok szerinti végső felhasználása hazánkban

A felhasznált energiák energialáncon követhetők, melynek a végső felhasználó a végállomása. Általában igaz, hogy ha egy energia feleség hosszú utat tesz meg, többszörösen átalakításra kerül, a költségek is jelentősen megnövekednek. Ezért a különböző hordozók reális költség összehasonlítása nem egyszerű.

A probléma érzékelésére tekintsük át, hogy az összes (különböző célú) hőfejlesztés hogyan oszlik meg a végső felhasználók között.⁸ Térfűtésre 50%-ot használunk fel, ebből 63% a lakások, 27% a közületek, kommunális épületek fűtésére, 10% a termelésre és a járművek üzemelésére fordítódik. Az életkörülmények biztosítására, tisztálkodásra, HMV előállítására ~10%-ot, technológiai célokra ~40%-ot fordítunk.

Kérdéstár

- A földkéreg átlagos hőmérsékleti gradiens értéke hazánkban
 - 5 °C/100 m
 - 3 °C/100 m
 - 0,65 °C/100 m
 - 1 °C/100 m

⁸ Emlékeztetőül a hőfejlesztésre az összes energia 60–70%-át fordítjuk.

2. Milyen berendezéssel nem lehet villamos energiát előállítani
- a) Villamos generátorral
 - b) Termikus generátorral
 - c) Fotovoltaikus elemmel
 - d) MHD generátorral
 - e) Turbinával
3. Melyek a villamos hőfejlesztés módjai
- a) Ellenállásfűtés
 - b) Tüzelés
 - c) Mikrohullám alkalmazás
 - d) Infravörös sugárzás alkalmazás
 - e) Hőcserélő alkalmazás
4. A talajban, vízben, vagy levegőben tárolt hőt a segítségével magasabb emeljük energia bevezetésével.

10. Villamos erőművek és energetikai összehasonlításuk

A villamos erőművek olyan nagyszisztemek, amelyek különböző energiahordozókból villamos energiát állítanak elő.

A világ első villamos erőművét Edison alkotta meg, amikor erőgépként gőzgépet, munkagépként egyenáramú dinamót alkalmazott.¹ Ez a villamos erőmű konkrét célra készült, de hamarosan a villamos energiaátvitel került előtérbe. Depez az 1882-es müncheni kiállításra egy 57 km hosszú kísérleti távvezeték épített. Egy gőzgép hajtotta generátor egyenáramával, 1500–2000 V feszültségen működtette a kiállítási helyszínre telepített villanymotort.

A villamos energia távolsági átvitelében igazi áttörést a váltakozó áramra való áttérés jelentette. A váltakozó áram alkalmazásával lehetővé vált a transzformátorok széles körű, szervezett használata. A villamos erőátvitel újabb jelentős állomása a háromfázisú transzformátor alkalmazása.

10.1. Hőerőművek

A 9. fejezetben részletesen foglalkoztunk a hőtermelés különböző módozataival. A hőtermelést követő folyamatok alapján különböző energiaátalakítók kapnak szerepet. Főbb lehetőségeket a 10.1. ábra szemlélteti.²

A klasszikus hőerőművekben a tüzelőanyag elégetésével felszabaduló hő a gőz közvetítésével a gőzturbinában az expanzió révén forgó mozgássá alakul, mely a generátor forgatásával villamos energiát generál.

10.1.1. Gőzturbinás erőművek

A kazán tűzterében elégetett tüzelőanyag (szén, fűtőolaj, hulladék, biomassza) hője felmelegíti a kazán-dob-csővezeték rendszerben lévő nagynyomású vizet, amely gőzzé párologva a túlhevítőben magas hőmérsékletű gőzzé alakul. Ez a gőz expandál a gőzturbinában, a fáradt gőz hőtartalmát kondenzátorban vonják el. A kondenzátumot tápszivattyú juttatja a kazán vízterébe. A rendszer hatásfoka a Ran-

¹ 1882. New York – vasútállomás megnyitása – Thomas Alva Edison. Orłowski – Pezylowski: Találmányok könyve. Móra Ferenc Könyvkiadó, 1982. pp.61.

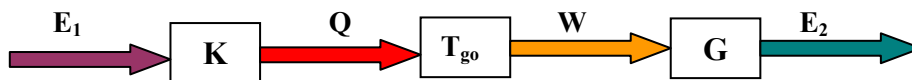
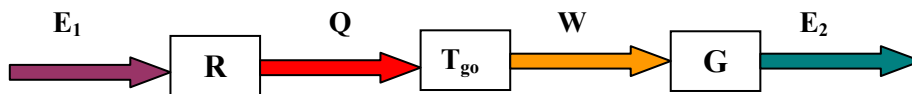
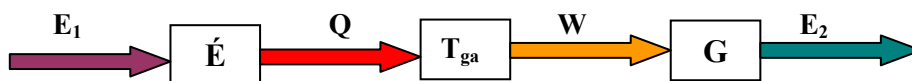
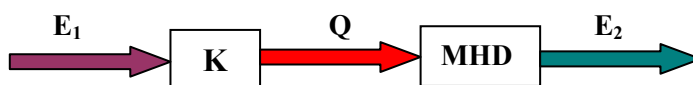
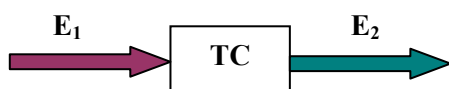
² Büki Gergely: Erőművek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004. pp. 15–20.

Közbenső energiák

E_1 – primér energiahordozó kötött energiája
 Q – hő
 W – munka
 E_2 – villamos energia

Energiaátalakító berendezések

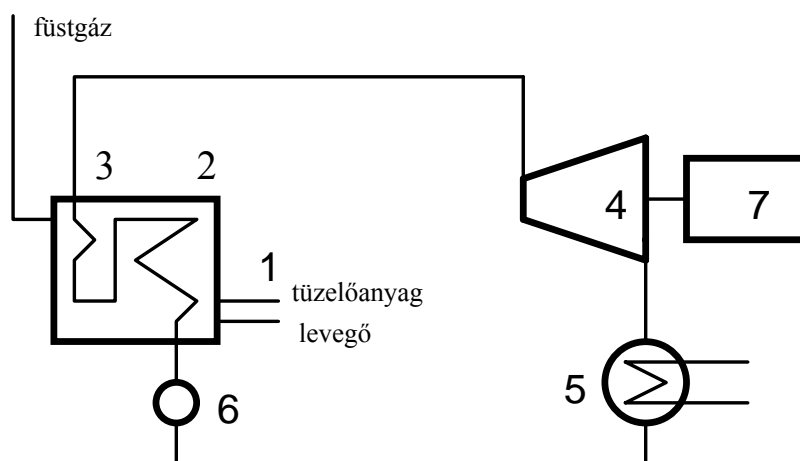
K – kazán
R – atomreaktor
 T_{go} – gőzturbina
 T_{ga} – gázturbina
G – generátor
É – égéstér
MHD – generátor
TC – tüzelőanyag cella

Gőzturbinás hőerőmű energiaátalakítási folyamata**Atomerőmű energiaátalakítási folyamata****Gázturbinás hőerőmű energiaátalakítási folyamata****Magnetohidrodinamikai hőerőmű energiaátalakítási folyamata****Tüzelőanyag cella energiaátalakítási folyamata**

10.1. ábra: Hőerőművek energiaátalakítási folyamatai

kin–Clausius körfolyamat alapján elsősorban a kazántér nyomásától, a túlhevítés hőfokától és a kondenzációs hőmérséklettől függ.

A gőzturbinás hőerőmű elvi vázlatát a 10.2.ábra szemlélteti. A legfontosabb egységeket (kazán, turbina, generátor, kondenzációs hűtőtorony, pernyeleválasztó, kéndioxid leválasztó, gipszüzem, ...) a 10.1–10.10. képek mutatják.



- | | | |
|---------------|----------------|-----------------|
| 1. Tüztér | 2. Kazán | 3. Túlhevítő |
| 4. Gőzturbina | 5. Kondenzátor | 6. Tápszivattyú |
| 7. Generátor | | |

10.2. ábra: A gőzturbinás erőmű folyamatábrája

Hazánkban a hagyományos hőerőművek fontos szerepet játszanak a villamosenergia ellátásában. Jelentősebb hazai gőzerőmű adatait a 10.1. táblázat szemlélteti.

| Erőmű neve | Teljesítmény | Fűtőanyag | Építés időszaka |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Paksi atomerőmű | 2000 MW | urán-oxid | 1973–1986 |
| Mátraaljai hőerőmű | 800 MW | lignit, biomassza | 1965–1973 |
| Tiszai hőerőmű | 860 MW | gudron, tüzelőolaj, földgáz | 1971–1979 |
| Pécsi hőerőmű | 215 MW | földgáz, biomassza | 1955–1966 |

10.1. táblázat: Jelentősebb hazai gőzturbinás erőművek³

³http://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarorsz%C3%A1gi_er%C5%91m%C5%B1vek_list%C3%A1ja



10.1. kép: Erőművi blokk: kazán, szénőrlő malom



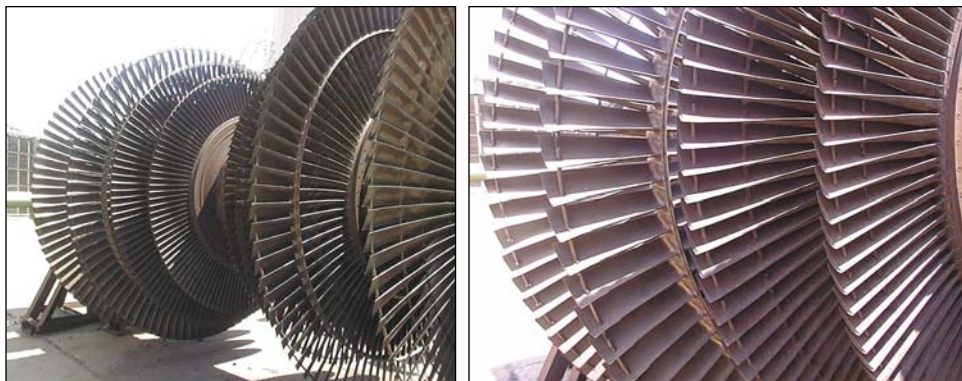
10.2. kép: Szénőrlő malom kopása / Tűztér ellenőrző nyílása



10.3. kép: Turbina és generátor szint



10.4. kép: Szétbontott gőzturbina



10.5. kép: Gőzturbina járókereke



10.6. kép: Heller-Forgó hűtőtorony ←

10.7. kép: Hűtőelemek ←

10.8. kép: Kéntelenítő berendezés ↑



10.9. kép: Blokkirányító



10.10.kép: Az erőmű blokkjainak elrendezése

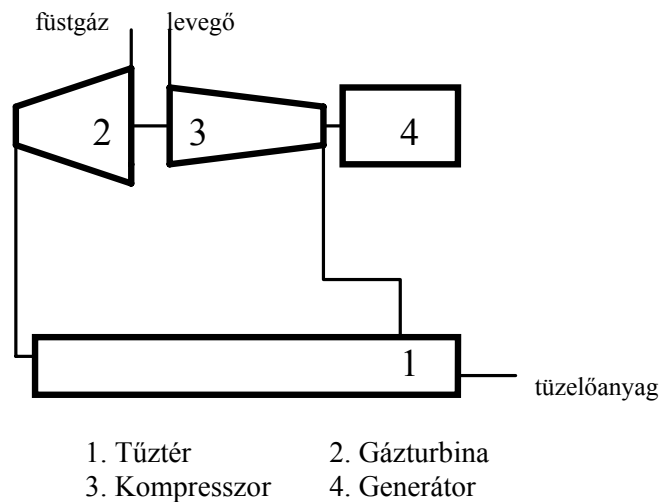
A klasszikus gőzturbinás erőművi blokkokat főként alaperőművi funkcióban üzemeltetik, de ma már gyakori a különböző kapcsolt üzemmódu működtetés is. A leggyakrabban alkalmazott módozatok: épületek hőigényének biztosítása, technológiai hőigények kielégítése, kombinált gáz/gőzerőművek létesítése.

A szén tüzelőanyaggal dolgozó gőzerőművek gőzkazánjai régebben többnyire rostélytüzelésűek voltak, ma már szénportüzelést és fluidágyas tüzelést alkalmaznak. Ezt a változtatást a tüzelőanyag váltás (lignit) és a környezetvédelmi előírások korlátozzák. Porszténtüzelés esetén oxigénhiányos, többlépcsős égés hozható létre, amely az NO_x csökkentését jelentheti. Fluidágyas rendszerrel mézskőpor adagolásával a SO_2 -t és az SO_3 -t lehet csökkenteni, s a korlátozott tüztéri hőmérséklet miatt az NO_x képződés is csökken.

A szén alapú kazán tüzelés esetén a pernye leválasztásáról és a füstgáz kéntelenítéséről gondoskodni kell. A pernye elhelyezése külön feladat. A kén leválasztás után keletkezett gipsz hasznosítható.

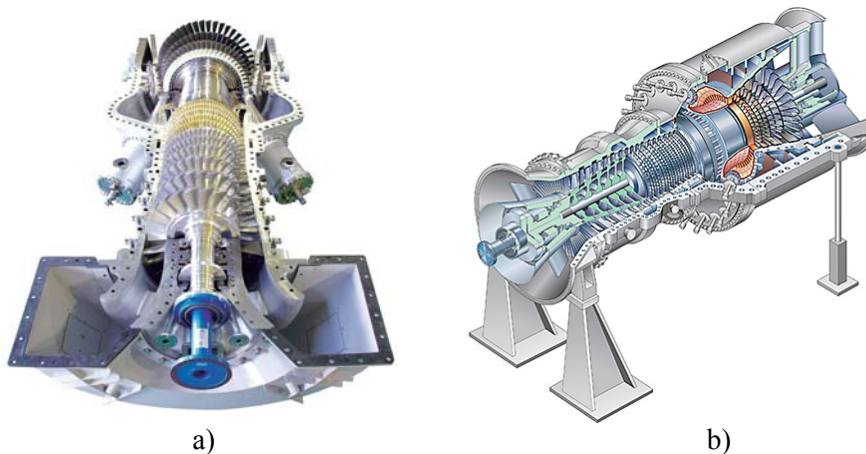
10.1.2. Gázturbinás erőművek

A gázturбина az elégetett tüzelőanyag füstgázának energiáját hasznosítja, a turbinában lezajló expanzió során (10.3. ábra).



10.3. ábra: A gázturbinás erőmű folyamatábrája

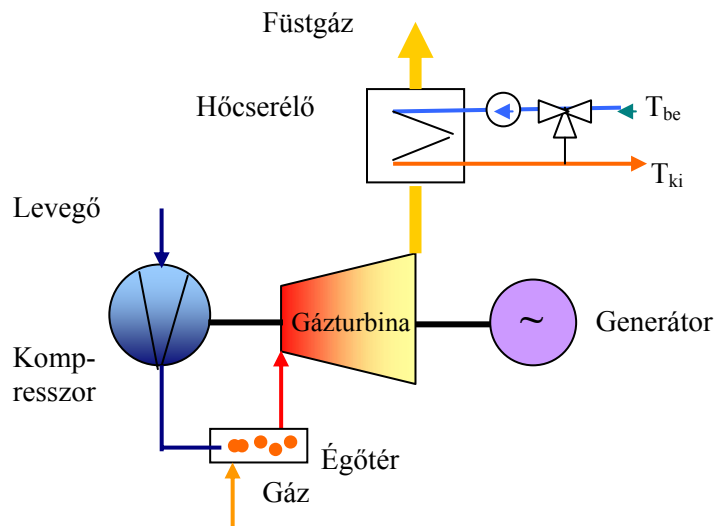
A klasszikus gázturbinás erőműveket rendszerint csúcsra járatott egységként használták. A gázturbina felépítését a 10.11. kép (a, b) szemlélteti.



10.11. kép: A gázturbina felépítése

A nagyméretű szénhidrogén tüzelőanyagú gőzerőmű egységeket az utóbbi időszakban kombinált gáz-/gőzerőművi blokkokra cserélik.

A mai alkalmazások többsége ún. kapcsolt hő és energiatermelés, azaz a gázturbina után füstgázhoz hasznosító hőcserélőt szerelnek, amely forróvizet (HMV) vagy gőzt állít elő (10.4. ábra).



10.4. ábra: A gázturbinás erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel

A jelentősebb hazai gázerőmű adatait a 10.2. táblázat szemlélteti.

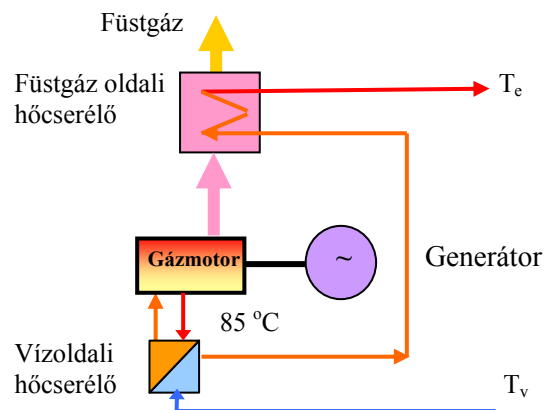
| Erőmű neve | Teljesítmény | Fűtőanyag | Építés időszaka |
|-------------------------------------|--------------|------------------|-----------------|
| Inotai gázturbinás csúcserőmű | 200 MW | gázolaj | 1971–1975 |
| Kelenföldi gázturbinás erőmű | 136 MW | földgáz, gázolaj | 1990–1996 |
| Csepeli gázturbinás erőmű | 390 MW | földgáz, gázolaj | 1995–2000 |
| Nyíregyházi Kombinált ciklusú erőmű | 49 MW | földgáz | 2006–2007 |

10.1. táblázat: Jelentősebb hazai gőzturbinás erőművek

10.1.3. Gázmotoros erőművek

A gázmotorokat régóta alkalmazzák biogázok (állattartó telep, szennyvíztisztító iszap) hasznosítására. Az előállított villamos energiát általában helyi célra, sziget üzemmódban alkalmazzák. A 10.12. kép a hódmezővásárhelyi szennyvíztisztító szennyvíziszap feldolgozása során nyert gáz tárolását, a 10.13. kép a nyitrai szennyvíztisztító gáztároló egységét mutatja. A 10.14. kép egy a gázt helyi célra hasznosító gázmotort, a 10.15. kép földgázzal és biogázzal is működőképes gázkazánt mutat.

Az utóbbi időben előtérbe került a kis teljesítményű gázmotorok alkalmazása fűtőblokkként távfűtési vagy házfűtési rendszerekben. Kiderült, hogy ezek a kapcsolt rendszereket kis teljesítménynél kedvező hatásfok jellemzi (10.5. ábra).



10.5. ábra: A gázmotoros erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel



10.12–10.13. kép: Szennyvíztisztítók gáztározói



10.14–10.15.kép: Gázmotor részlet / Kombinált gázkazán

1 GJ hő átviteléhez szükséges vízmennyiség különböző visszatérő hőmérséklet esetén (10.3. táblázat).^{4,5}

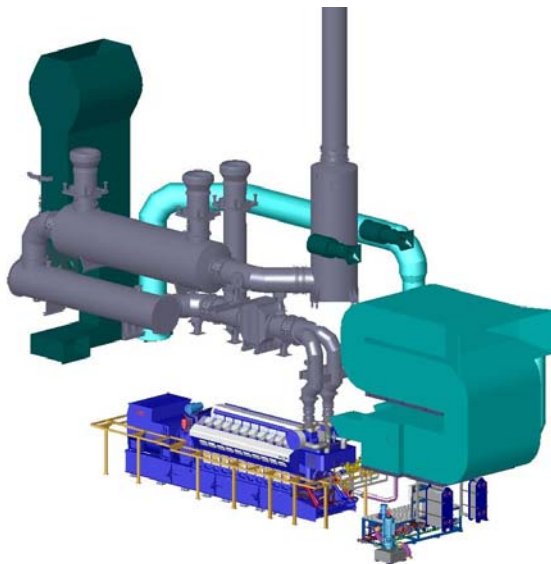
| Belépő hőmérséklet | Kilépő hőmérséklet | Fajlagos víz szükséglet |
|--------------------|--------------------|---------------------------|
| 60 °C | 106,84 °C | 21,35 m ³ /GJ |
| 70 °C | 98,11 °C | 35,58 m ³ /GJ |
| 80 °C | 89,37 °C | 106,74 m ³ /GJ |

10. 3. táblázat: Gázmotor hő és víztérfogat viszonyai

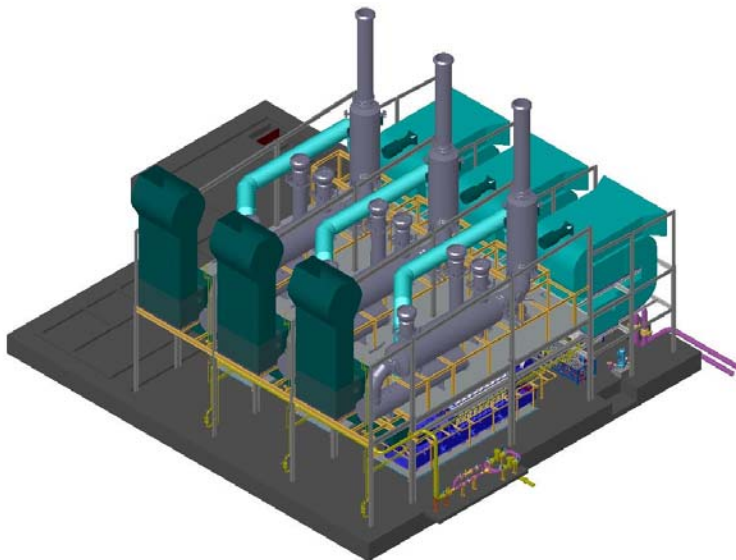
⁴ Balikó Sándor: Gázmotor fűtési rendszerbe illesztése. Energiagazdálkodás 2002, 1. pp. 29.

⁵ A villamos- és a hőteljesítmény arányai: Pl. a Kiskunhalasi Távhőszolgáltatónál: 320 KWe/ 535 KWth. Forrás: Bercsi Gábor: Gázmotoros kapcsolt energiatermelés helyzete az ezredfordulón. Energiagazdálkodás 2001. 5. pp. 16–19.

Az újpalotai gázmotoros erőmű néhány 3D-s szimulációját mutatják a 10.16–10.17. képek.



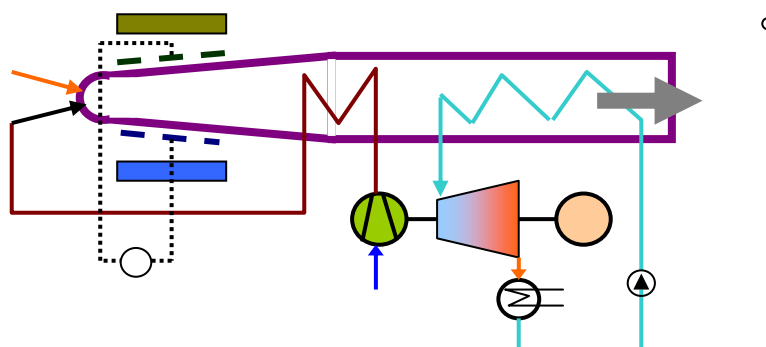
10.16. kép: Gázmotoros fűtőerőmű egy blokkjának főbb egységei



10.17. kép: Gázmotoros fűtőerőmű három blokkjának elrendezése

10.2. MHD generátor

Közvetlen energiaellátás, mely során a füstgáz egy magnetohidrodinamikuss rendszerben ionizálódik és a felszabaduló elektronok a gázt vezetővé teszik. Az ionizált és vezetővé tett gáz nagy sebességgel áramlik. Hatásfoka kedvező, ha a hőmérséklet magas és kilépő hőt gőzerőmű tovább hasznosítja (10.5. ábra).



10.5. ábra: MHD generátor elvi elrendezése

Jelölje az alábbi anyagokat és egységeket: G – gáz; É – Észak; D – Dél; L – levegő,
1 – Generátor; 2 – Gőzturbina; 3 – Kompresszor; 4 – Szivattyú; 5 – Kondenzátor

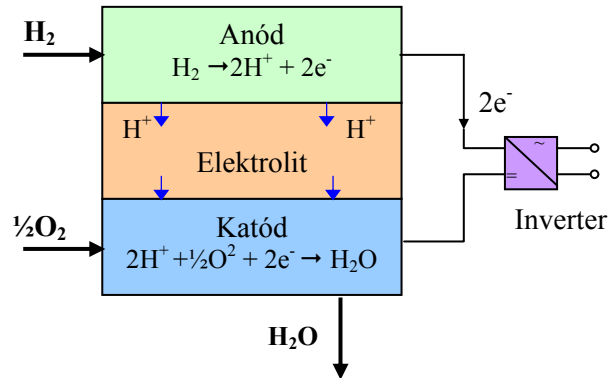
Feladat

Írja a helyes számokat és betűket a megfelelő helyre!

10.3. Tüzelőanyag cella

A tüzelőanyag cella a tüzelőanyagból közvetlenül villamosenergiát termel. Ha a tüzelőanyag hidrogén, akkor a hidrogén és az oxigén elektrokémiai reakciójából víz keletkezik és az anód és a katód között elektronok áramlanak, mely az inverterben váltakozó árammá alakítható. A rendszer jellemzőit mutatja a 10.6. ábra.⁶ Tüzelőanyag cellás autó modelleket a 10.18–10.20. képek szemléltetik.

⁶ Büki Gergely: Kapcsolt energiatermelés. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007. pp. 225–233.



10.6. ábra: Hidrogén tüzelőanyag cella működési elve



10.18., 10.19, 10.20. ábra: Tüzelőanyag cellás modellek
 (Modellre szerelt napelemmel; Modellhez kapcsolható napelemmel; Hidrogén-oxigén kutat működtető napelemmel; A napelemek a vízbontás energiáját fedezik.)

10.4. Napenergia hasznosítása

10.4.1. Napelemek alkalmazása

A napelemek (PV) félvezető technológiát alkalmazó fotoelektromos berendezések. Legkisebb egységei a cellák, amelyeket modulokká kapcsolnak. A hálózati modulok ~240 cellából állnak, melyek által előállított egyenáramú villamos energiát váltakozó árammá kell alakítani.

A napelemek hatásfoka 5–15%. Jelenleg a világ összes villamosenergia felhasználásának csak ~1%-át állítják elő ily módon. Ennek az energiának „kézzel fogható” hasznosítására óriási felületeket kellene kialakítani. Ezzel létrehozható energia jelenleg reálisan csak lokális igényeknek tud megfelelni.⁷ Különböző kísérletek folynak, s amennyiben a napelem modulok ára és a kapcsolódó berendezések költségei csökkennek, van remény arra, hogy a napelem felületek nőnek. A 10.21. kép egy napelem telepet mutat be (Portugália). A 10.22–10.25. képek helyi alkalmazásokat szemléltetnek.

A 10.6. táblázat megépült napelem parkok főbb jellemzőit foglalja össze.

| Erőmű neve | Teljesítmény | Helyszín | Építés időszaka |
|---------------------------------|--------------------|----------|-----------------|
| Sarnia Photovoltaic Power Plant | 97 MW _p | Canada | 2009–2010 |
| Rovigo Photovoltaic Power Plant | 70 MW _p | Italy | 2010 |
| Olmedilla Photovoltaic Park | 60 MW _p | Spain | 2008 |

10.6. táblázat: Működő napelem parkok a világon (50 MW_p felett)⁸



10.21. kép: Napelem telep (Portugália)

⁷ Részletesen: Dr. Giber János: Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest, 2005.

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_plan



10.22–10.25. képek: Egyszerű napelem alkalmazások

10.4.2. Naperőművek

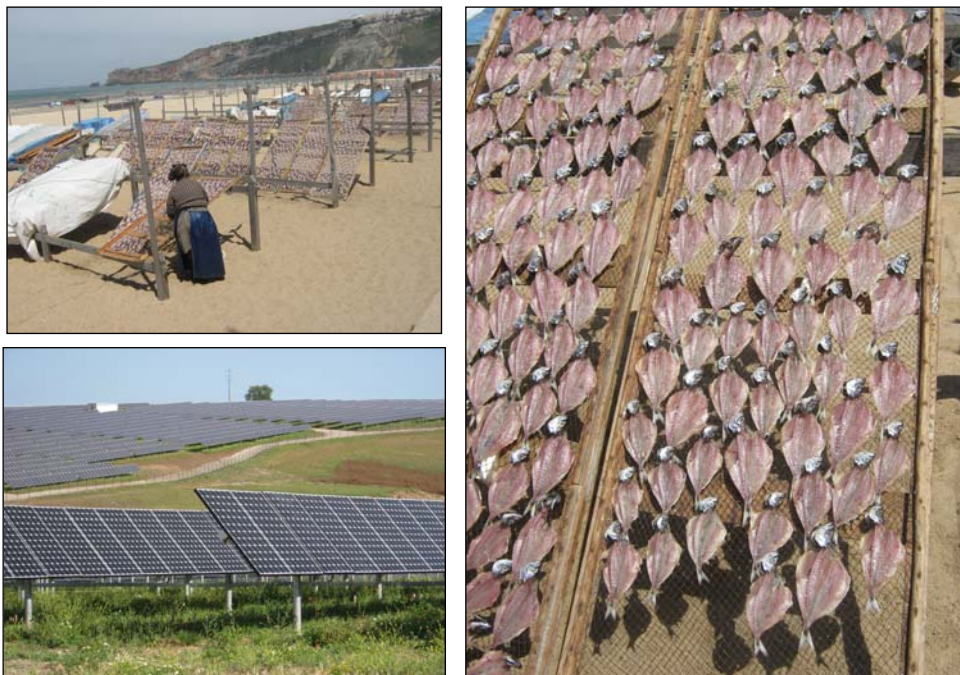
A Nap energiájának legegyszerűbb alkalmazása a közvetlen hasznosítás. Azokon a földrajzi helyeken, ahol a Nap energiáját közvetlenül hasznosították az elmúlt évezredekben, most új eszközökkel hatékony, jól felhasználható energiához juthatunk. A 10.26. kép a halszáritás hagyományos módját mutatja be, mely és a napelempark közötti analógiát könnyen fel lehet ismerni.

A termikus naperőmű lényegileg egy 50–60 m magas toronyban elhelyezett „kazán”, amelyet a körkörös elhelyezkedő tükörrendszerrel érkező napsugarak felmelegítenek. Ideális meteorológiai viszonyok esetén gőz állítható elő, amely gőzturbinában hasznosítható és villamos energia fejleszthető (10.27. kép).

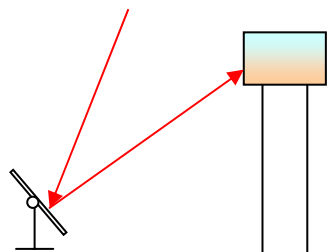
A rendszer hatékonysága fokozható, ha a tükrök szöge állítható, és ha nem sík-tükröket, hanem parabolatükröket alkalmaznak (10.29. kép).

A naperőmű mintájára *napkohók* is építhetők, melyeket elsősorban metallurgiai kísérletekhez használnak.

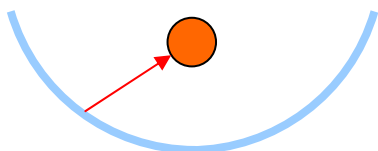
A naperőmű egyik változatában vízszintes *csőregisztereket melegítenek parabolikus tükrökkel*, így torony építésének költségei megtakaríthatók (10.28. kép).



10.26. kép: A Napenergia hagyományos és modern felhasználási módjai között analógia van



10.27. kép: Naptorony⁹



10.28. kép: Parabola teknős naperómű hőgyűjtő rendszere

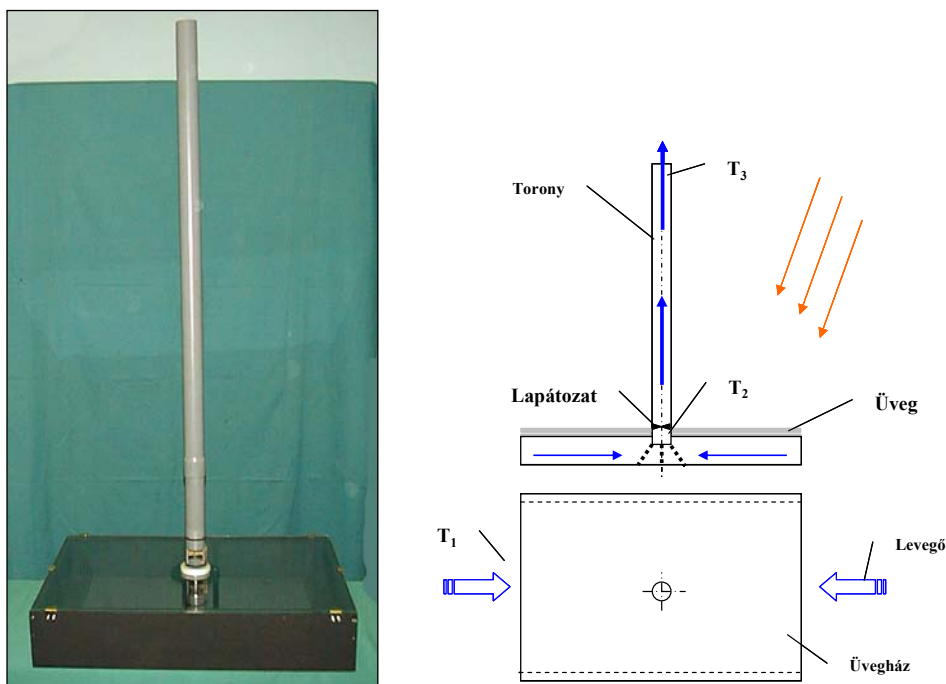


10.29. kép: Parabola tükrös napkonyha

⁹ Naptorony épült Spanyolországban, 83 m-es toronnyal. A napsugarakat gyűjtő felület (300 darab, egyenként 40 m²-es tükrökből áll (heliostat). Népszabadság, 2011. január 12.

10.4.3. Naptorony

A naptorony egy magas kémény, melynek környezetében hőgyűjtő felületeket (üvegház és napkollektor kombinációja) állítanak fel, s az üvegházhatás során felmelegedett levegő egy turbinát hajt. A friss levegő a vákuum hatására beáramlik a hőgyűjtőbe, s felmelegedve fenntartja a folyamatot. A napkémény modelljét és elvi rajzát a 10.30. kép szemlélteti.



10.30. kép: Napkémény modellje és működési elve

10.4.4. Szélenergia hasznosítása

A szélenergia hasznosítására – a gyakorlati tapasztalatok szerint – ott van lehetőség, ahol a szélesség értéke 5–10 m/s közé esik. A szélesség átlagértéke és a szeles órák száma elsősorban a tengerparti régiókban magas. Így vált Hollandia, Dánia és Németország szélenergia „nagyhatalommá”. A kinyerhető valóságos teljesítménysűrűség: 30–1000 W/m².

A hazai szélvagyon főként a Kisalföldre, a Bakony északi és északnyugati részére és Szolnok megye területeire koncentrálódik. A szélkerekek a nagy magasság miatt rendkívül költségesek, de egyértelműen megújuló energiának tekinthetők. Kedvezőtlen környezeti hatásuk a zajhatás, mely céltudatos telepítéssel elkerülhető.



10.31–10.35. kép: Függőleges és vízszintes tengelyű szélkerekek



10.36–10.37. kép: „Kapcsolt” energiátalakító rendszerek

10.4.5. Vízenergia hasznosítása

A vízenergia villamos energia előállítására való hasznosítása egyidős a villamos energia ellátással. A vízerőművek adják a világ villamos energia termelésének ~20%-át. A vízerőművek főbb típusai:

- *Átfolyós vízerőművek*, melyeket a nagy vízhozamú, de kis esésű folyókra építenek. A vízesés nem sokat változik.
- *Tározós vízerőművek*, amelyek a naponta, vagy meghatározott periódusonként gyűjtik össze a vizet. Magas gátrendszert igényel. Általában csúcsüzemben működtetik.
- *Üzemvíz csatornára telepített erőművek*, melyek építése a legkevesebb környezeti beavatkozással jár.
- *Szivattyús tárolós vízerőművek* többféle üzemmódban működhetnek. Leggyakoribb, hogy csúcsra járatják, azaz a felső víztározót akkor töltik fel, amikor nincs villamos csúcs és akkor engedik le a vizet, amikor a villamos energiaigény megnőtt. Ma már motor-generátor és turbina-szivattyú üzemmódú gépeket is alkalmaznak.
- *Árapály erőművek* és a *hullám erőművek* alkalmazása is előtérbe került, de ezek többsége még kísérleti szakaszban működik.

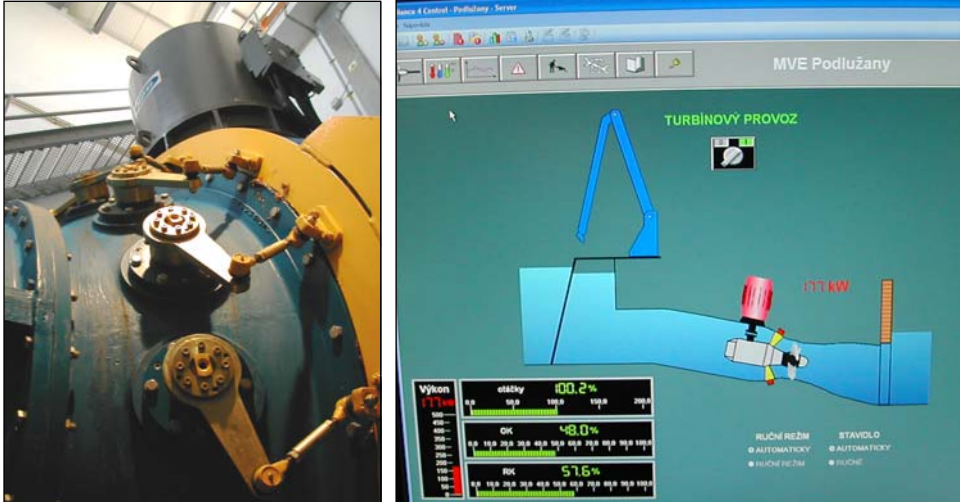
A hazai vízerőművek közül a Kiskörei erőmű a legnagyobb beépített teljesítményű: vízese 6,7 m, vízhozama: 560 m³/s, villamos teljesítménye: 28 MW, 4 db csőturbina szolgáltatja az energiát. Tározó hasznos térfogata: 132 millió m³.



10.38–10.40. kép: A kiskörei vízerőmű modellje, billenő szegmensei és uszadék tisztítója



10.41–10.45. kép: Mini vízerőmű a Nyitra folyón, partfal karbantartása

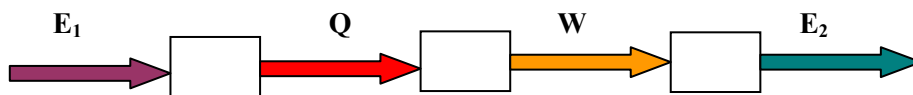


10.46–10.47. kep: A turbina elhelyezése, a vezetőkerék szabályozó rendszere

Kérdéstár

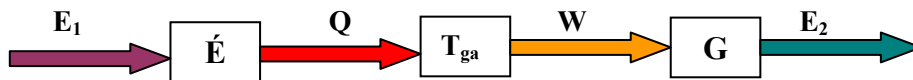
1. Rajzolja fel a gázturbinás hőerőmű energiaátalakítás folyamatát! Elemezze!
2. Írja be az üres helyekre a megfelelő betűjeleket!

Atomerőmű energiaátalakítási folyamata



3. Egészítse ki a hiányzó szöveget!

..... hőerőmű folyamata



4. Válassza ki a hibás állítást!

- a) A Tiszai hőerőmű biogázzal üzemel.
- b) Pécsi hőerőmű biomasszát is felhasznál fűtőanyagként.
- c) A Mátraaljai erőműben lignitet tüzelnek el.
- d) A Paksi erőmű urán-oxid fűtőanyagot használ.
- e) A lignitet porszénként tüzelik el.

5. Jelölje a helyes választ!

- a) A kénleválasztás során keletkezett gipszet a mezőgazdaságban hasznosítják.
- b) A Heller-Forgó hűtőtornyot ott használják, ahol a hűtővíz nagy mennyiségben rendelkezésre áll.
- c) A kéntelenítés során nem marad vissza füstgáz.
- d) A kénteleítő egységet csak azért helyezték el a hűtőtornyban, hogy helyet ne foglaljon.
- e) A kénleválasztás során keletkezett gipszet a gipszkarton gyárban hasznosítják.

6. Válassza ki a helyes állításokat!

- a) A gázturbinás erőműben a füstgázt komprimálják.
- b) A gázturbinás erőműben a friss levegőt komprimálják.
- c) Az égéstérből a füstgáz a HMV hőcserélőbe jut.
- d) Az égéstérből a füstgáz a gázturbinába jut.
- e) A kompresszort a generátor hajtja.
- f) Általában egyenáramú hőcserélőket használnak.

7. A gázmotoros erőművekre vonatkozó állítások közül válassza ki a helyeseket!

- a) Csak az utóbbi évtizedben használják.
- b) Kis teljesítményeknél kapcsolt üzemmódban jó a hatásfoka.
- c) Kis teljesítményeknél kapcsolt üzemmódban rossz a hatásfoka.
- d) A gázmotor meglévő fűtőművekhez nem kapcsolható.
- e) A gázmotor vízoldali hűtőköréből kikerülő víz tovább melegíthető a füstgáz hőjével.
- f) A gázmotor vízoldali hűtőköréből kikerülő víz nem melegíthető tovább a füstgáz hőjével.

8. Válassza ki az alábbi felsorolásból azokat az egységeket, amelyek tüzelőanyag cellához tartoznak!

- a) generátor
- b) kompresszor
- c) kondenzátor
- d) inverter
- e) katód
- f) szivattyú

9. Mely állítások igazak a Napkéményre?

- a) parabola teknőben gyűjtik a hőt
- b) forgó egysége a turbina
- c) a felmelegedett levegő felfelé áramlik a kéményen és mozgásba hozza a turbinát
- d) a kémény tetején egy kazán található, ezt melegíti fel a feláramló levegő
- e) a levegő csak azért áramlik, mert a kémény magas
- f) a kéményhez kis hőgyűjtő területre van szükség

10. Egészítse ki az alábbi mondatokat:

- a) Az átfolyós vízerőműveket vízhozam ésesés esetén építik.
- b) A vízerőműveknél magas gátrendszert alkalmaznak.

11. Energiatudatosság. Személyes-, települési- és gazdasági érdekek

Az ember – céljai elérése érdekében – környezete átalakítására törekszik. Ehhez kezdetben a saját testi energiáját mozgósította, de mivel ez „kicsinek” bizonyult, összefogott embertársaival és különböző eszközöket szerkesztett, melyek könnyítettek munkáján. Így alkotta meg az ember a csuszkát, a görgőt, a kereket, amelyek segítségével a szállításra fordított munkáját mérsékelte. A körmozgás megismerése után már speciális „gépeket” készített és működtetett. Ezek közül a legismertebb a kézi malom, a lábhajtású fazekaskorong, az íjhajtású eszterga. Az állati erőt vontatásra (kocsi, eke), őrlésre hasznosította. Újabb és újabb „munkagépeket” gondolt ki (vízszállításra, vízemelésre, melegítésre), melyeket egyre bonyolultabb mechanizmusok segítségével működtetett. Olyan eszközöket szerkesztett, amelyek a modern gépek és eszközök előfutárának tekinthető.

Az emberiség történetének vázlatosan bemutatott szakaszában az ismert erőforrásokat már tudatosan használták, s az eszköztárat egyre bővítették.

„Minden anyagi rendszer működéséhez szükség van energiára.”¹ A földi tér folyamatai jelentős energiafelhasználók és -közvetítők. A vulkáni tevékenység, a gleccserek létrejötte és mozgása, a földcsuszamlások, a tektonikai lemez elmozdulások, a vízköri és a légköri áramlások energiája folyamatosan mozgásban tartja a „teret”.

Az energiaátalakulás következményeként alakultak ki a fotoszintetizáló növényi szervezetek, melyek a Nap energiáját hasznosítják. Más kemoszintetizáló növények a kémiai energiát használják fel a szervezet építéséhez és működtetéséhez. A heterotróf szervezetek más növényi és állati szervezetek szerves anyagaiban tárolt energiát használják fel. Ebben a biológiai láncban foglal helyet az ember, s biológiai energiaigényét étellel veszi fel.

Az ember a környezetéből egyre nagyobb teret ismert meg, így élményeket gyűjtött a természetben lezajló eseményekről. Valószínűsíthetjük, hogy kereste a különböző „csodákra” a megoldást, így: a kőzetomlásokra, árvizekre, földrengé-

¹ Kerényi Attila: A termelés energiafüggősége és a környezet hierarchiája. In: Dövényi Z. – Schweitzer F (szerkesztők): A földrajz dimenziói. MTA, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2005. pp.349–363.

sekre, a szélre, az ár-ápany-ra, a hullámzásra, a csapadékokra, a felhőkre, a viharra, a villámlásra, a Nap sugárzására és más természeti eseményekre. Valószínűleg egyre több hasznos információt szerzett az élettelen és az élő környezetről. Az összefüggések ösztönös keresése vezethetett ahhoz, hogy felismerte az ok-okozat kapcsolatokat. Így jutott el oda az ember, hogy értelmezte az „eleven erőt”, az energiát.

Az emberiség létszámának növekedése és az emberi célú energiafelhasználás szoros kölcsönhatásban van egymással:

- az ember energiaigénye nő,
- az energiaigény és a felhasználás jelentősen elvált egymástól. Egyes területeket energiapazarlás, más területeket kritikusan alacsony szintű energiafelhasználás jellemez.

A társadalom fejlődése a biológiai igényen túli energiafelhasználást generál. Például: lakásépítés, gépjármű-közlekedés, használati tárgyak, -eszközök gyártása.

11.1. Energiahatékonyság

Az energia ellátás biztosítására – bármely korban – műszaki berendezésekre és tőkebefektetésre volt szükség. A köznapi elemzésekben gyakran a műszaki berendezések energetikai hatásfokának javítását tekintik mindenhatónak. Ma már tisztán érzékelhető, hogy a hatásfok javítás önmagában nem elegendő az energiaellátás biztosítására. Az igény folyamatosan nő, s ez a gazdasági fejlődés „mozgatórugója”.

Az energiahatékonyság egy gazdasági mutató, amely (az ország, a régió) 1 főre vetített GDP értéke és az 1 főre eső energiafelhasználás hányadosa (n/e). Szokásos mértékegysége: USD/GJ. A világátlag ~30; az OECD országok átlaga: 95; fejlett országok esetén: 60–100, fejlődő országok tartománya: 5–10, Magyarország mutatója: ~30. Ennél az adatsornál pontosabb, realisabb adatot szolgáltat, a vásárlóerőt figyelembe vevő index.²

Az energiahatékonyság javítása lehetséges:

- új, modern műszaki eszközök bevonásával;
- termelési szerkezet váltásával (energiaigényes tevékenység visszaszorításával).

² Részletesen: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, pp.54–57.

A problémát elsősorban az jelenti, hogy az alkalmazott technológia műszaki színvonala, a termelékenység, az ár, a munkaerő kvalifikációja, ... rendkívül eltérő. Hazai viszonylatban a hozzáadott érték is rendkívül alacsony.

Az energiahatékonyság foka egy ország energetikai ellátásának értékelésére alkalmas.

Ahhoz, hogy egy ország energiahatékonysági szintjét emeljük, meg kell találni azokat a beavatkozási pontokat, amelyekkel a gazdasági fejlődés biztosítható. Az egyén, aki részese az energiafogyasztásnak, gazdasági és műszaki értelemben is keresi azokat a mozgástereket, amelyek a „pozícióját” javítják.

11.2. Energiatudatosság

Az ember – amint ezt már részletesen kifejtettük – *tudatos energiatermelő és energiafogyasztó*. A tudatosság kezdetben: a tűz megőrzésére; a tüzelőanyagok tartalékolására; a folyók, patakok tavak és tengerek áramlási viszonyainak „kiismerésére” és használatára; a szelek irányának, erősségének és ismétlődésének jellemzőire; a napenergia évszaki és napi „viselkedésének” megértésére; a természeti hőforrások alkalmankénti használatára irányult. Bizonyosak lehetünk abban, hogy a megújuló energiaforrások felhasználása a környezet megóvására, fenntarthatóságának biztosítására, az energiával való takarékosagra ösztönözte az embert.

A nem megújuló energiák használatára lényegileg két okból kényszerült az ember.

Egyrészt létszáma rendkívüli mértékben növekedett, így egyre nagyobb teret „foglalt el” a természettől, a rendelkezésre álló megújuló forrásokat „túlhasználta” a fenntarthatóság határát túllépte. Újabb területeket vett használatba, sokszor olyanokat is, amelyek nem „hasonlítottak” a kezdeti, kedvező feltételekhez. Az ember azonban tudatosan kereste a megoldásokat problémáira, így az energiaigény kielégítésére is.³

Másrészt az emberi kultúra fejlődésével energiaigénye is jelentősen nő. A mai ember olyan eszközök sorát alkalmazza ma, melyekről a 19–20. században is csak az „álmodozók” gondoltak. Mindenki számára világos, hogy a közvilágítás, a tömegközlekedés, a telekommunikációs eszközök – és sok más rendszer – haszná-

³ Egyes szélsőséges éghajlati területeken: pl. Tundraklíma tájon a Föld területének 8,9%-án a Föld népességének 0,3 %-a él. A Meleg, télen száraz klímátájon az arányok: 8,4% területen 27,6 % népesség. Részletek: Becsei József: Népességföldrajz. Ipszilon Kiadó Kft., Békéscsaba, 2004. pp. 161–165.

lata életünk fontos része, a Föld népességének egy része számára ezek hozzáférhetőek, mások számára nem.

Az emberiség hosszú ideig fizikai munkavégző képességét hasznosította. Ez a kis potenciál biztosította a társadalmi fejlődést, a civilizáció megalapozását.⁴

A tudatos emberi tevékenység eredményeként létrejött természeti – társadalmi – technikai környezetet folyamatosan változás jellemzi. Így az ember minden cselekedete egy társadalmi közegben valósítható meg. Az elképzelések megvalósításának ez a környezet támogatója és ellenzője is lehet. Leegyszerűsítve ezt a kapcsolatrendszeret, azt mondhatjuk, hogy az eredményes megvalósításhoz érdekek egyeztetésére, támogatások „kijárására” van szükség.

Az érdekek felmérése, egyeztetése különösen nagy hangsúlyt kapott az energia hasznosítás területén. Vázlatosan bemutatjuk a problémakört Vajda György munkájának⁵ felhasználásával.

11.2.1. Személyes érdekek

Az ember környezetét formálva igényei mind jobb kielégítésére törekedett. Száláshelyét – lakóházát „komfortossá” alakította, olyan tűzhelyet épített, mely konyhai és fűtési funkciókat is ellátott. A füst elvezetését is úgy oldotta meg, hogy a kedvezőtlen hatásokat „minimalizálja”. Készülékét folyamatosan korszerűsítette. Munkaeszközeit saját magához „idomította”. Technológiákat fejlesztett, ezek működtetéséhez mind több energiára volt szüksége, ezért „megtanulta” az energiagazdálkodás főbb szabályait. Hamarosan kiderült, hogy az emberek különbözőek, – képességeik, adottságaik, tanult ismereteik alapján – eltérő színvonalon képesek eszközöket, tárgyakat, berendezéseket készíteni, így egy természetes elv szerinti munkamegosztás alakult ki a közösségek tagjai, majd a társadalom „szereplői” között. Ez az egyéni érdekek „megfogalmazásához”, érdekcsoportok kialakulásához és ezekhez való csatlakozáshoz vagy eltávolodáshoz vezetett.

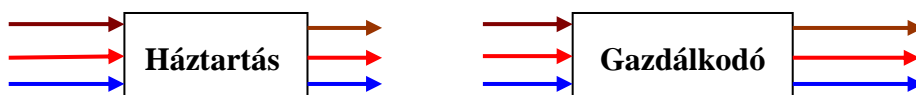
Ezen az alapokon „építkezve” a mai ember személyes érdeke, hogy bármely időpontban, bármely helyen elegendő mennyiségben és formában álljon energia rendelkezésére.⁶

⁴ Magyarország munkaképes lakosságának elméleti munkavégző képessége 4 PJ/év, ez a felhasznált primér energia 0,4%-a. A ló teljesítőképessége ideális esetben az emberi teljesítőképesség 15-szöröse. Lásd. Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, pp. 74–75.

⁵ Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, pp. 337–349.

⁶ Forman Balázs: Energiagazdálkodás. In: Bora Gyula–Korompai Attila (szerk.): A természetes erőforrások gazdaságtana és földrajza. Aula kiadó, Budapest 2001. pp. 72–80.

A kereslet és a végső felhasználó szempontjából két fontos fogyasztói csoportot értelmezhetünk: a háztartásokat és a gazdálkodó egységeket. A 11.1. ábra vázlatosan szemlélteti azt a különbséget, amely e két rendszer csoport sajátossága: a háztartás az energiafogyasztásra determinált (a GDP felhasználásához kapcsolódik), a gazdálkodó egység a termelésre determinált.



11.1. ábra: Háztartás és a Gazdálkodó, mint technikai rendszer

Jelmagyarázat: anyag: → energia: → információ: →

Az energiatudatosság néhány jellemzője az egyén szintjén:

- a lakótér kis energiaszükségletű legyen;
- a lakótérben folyó tevékenységek során a károsanyag kibocsátás minimális legyen (fűtés, háztartási gépek);
- az épület minél több megújuló energiát hasznosítson;
- a gépjármű-közlekedést minimalizáljuk;
- a háztartás ne terhelje környezetet felesleges hulladékokkal.

11.2.2. Települési érdekek

Az egyén általában nem elszigetelten él, ezért különböző mértékben, de alkalmazkodnia kell embertársai elképzeléseihez is. A település az a nagyobb egység, ahol rendszerint megfogalmazzák a környezettudatosság és az energiatudatosság főbb pilléreit. Az első településeken a legjobb lakóterületeknek a vízparti, de részben védett dombos magaslatok bizonyultak. Ilyen helyre azonban csak néhányan költözökdhettek a szűk „keresztmetszet” miatt. Az új lakók csak a kedvező adottságoktól távolabb települhettek le. Érdejük azt kívánta, hogy a vízparti területeket közösen használják, így rendszerint átalakították a korábbi felhasználást: kikötőket, közösségi tereket hoztak létre. Az érdekek közös képviselője a fejlődéssel egyre inkább előtérbe került. A közvilágítás létrehozása⁷, a közösségi közlekedés megszervezése⁸, ... mind-mind energetikai együttgondolkodást tételez fel.

⁷ Pompeiben Kr.u. 79-ben már fáklyás közvilágítást alkalmaztak.

⁸ 1857. március 1-én megindult Szegeden az első Omnibusz járat a vasútállomás és a belváros között, 1884. május 23-án nyitották meg a városi közúti vaspályát, melyen gőzvontatást alkalmaztak. Ezen pálya egy részén 1884. május 26-án lóvasúti közlekedést indítottak. 1908. október 1-én indult az első szegedi villamos a városi vasúti hálózaton.

A villamos energia felhasználásának kezdeti időszakában – amint azt már láttuk, városi villanytelepek létesültek a helyi, majd a regionális igények kiszolgálására. Ezek mintegy „húzóágazat” működtek, mert a munkahelyteremtést, az infrastruktúra fejlesztést szolgálták. Később más érdekek mentén – főként gazdasági szempontokból – regionális, majd globális erőmű fejlesztések mellett döntöttek. Ezek reális értékelése több évtizedet vett igénybe, s mára a lakosság jelentős része nem kedveli a „monstrumokat”, kevésbé fél a decentralizált erőművektől, a helyi lehetőségekhez igazodó (Edison elvet követő) erőműveket létesítene. Ugyanakkor más települések lakossága fél a mobil erőművektől, a (gyakran gusztustalan, fertőző) hulladékot égető mini erőművektől. A megegyezések csúsznak, a problémák tovább élnek. Hasonlókat tapasztalni a közlekedés területén, a mezőgazdaság energiaigényének kielégítési folyamatában, a geotermikus energia hasznosításában, a radioaktív hulladék kezelésében is.

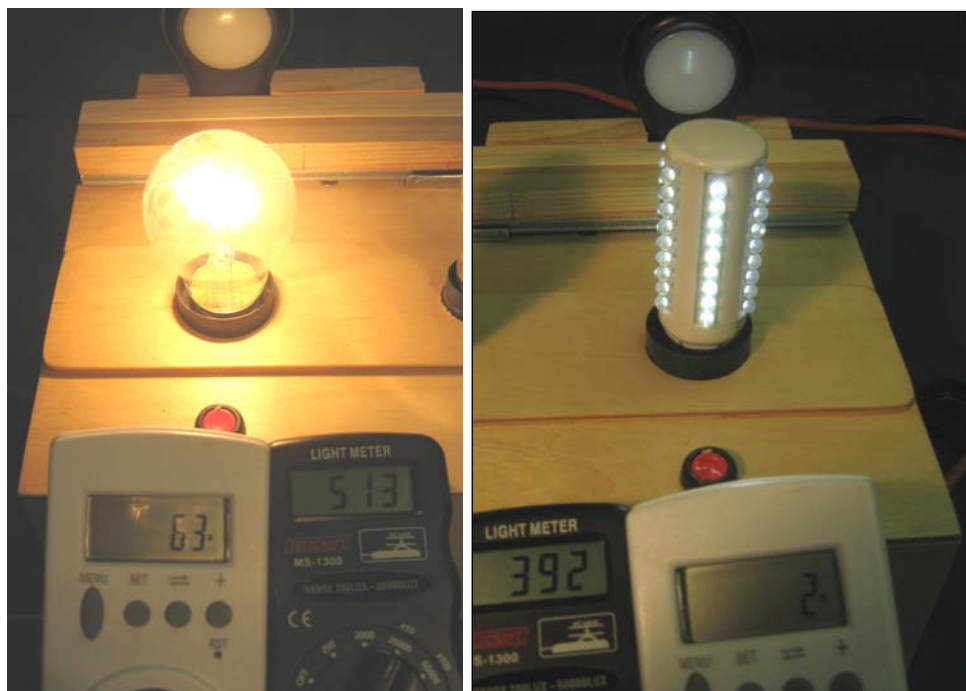
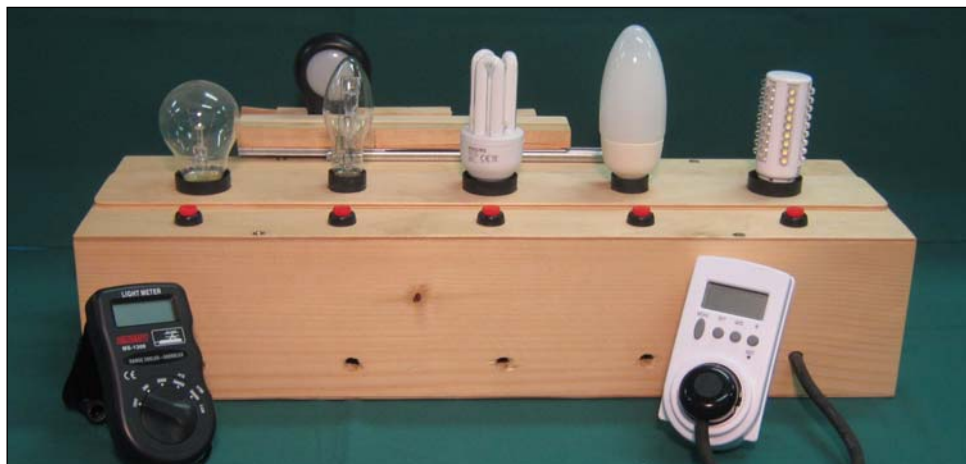
A települési önkormányzatok létesítmények engedélyezésében mind nagyobb szerepet játszanak, így akár a személyi érdekek, akár a gazdasági érdekek mentén konfliktusok keletkeznek. Ezeknek az érdekeknek a harmonizálása sokszor a továbblépés feltétele.

11.2.3. Gazdasági érdekek

Az energiahatékonyság bevezetése során kifejtettük, hogy az 1 főre eső GDP termelést az 1 főre eső felhasznált energia (GJ) függvényében vizsgáljuk. A gazdaság szereplőinek érdeke, hogy minél nagyobb volumenben, minél többféle energiahordozót értékesítsenek. Ugyanakkor személyes, de gyakran önkormányzati érdek is, hogy a technikailag a legkorszerűbb, legtakarékosabb eszközöket használjuk fel. Sajátos ellentmondás, hogy a lakosság világításra az összes energiának mindössze 1%-át használja fel, ugyanakkor ezen a területen képes a legjobban takarékoskodni. Erre a gazdaság szereplői olyan izzó választékkal léptek a piacra, amely kisebb üzemi költséggel jár(hat), de rendkívül drága a beszerzésük és az élettartam garanciák is bizonytalanok. Így a gyártó munkahelyek számának csökkentését hajtotta végre, újabb konfliktusokat generálva. Ugyanakkor valós gazdasági érdeke a családoknak, hogy kisebb villamos teljesítménnyel arányosan nagyobb megvilágítási értéket (lux) létesítsenek (11.2. kép).

Hasonló konfliktusok ismertek a gépjármű üzemanyag termelés és fogyasztás területén, az energiatakarékos termékek gyártásában, az energiaszegény – passzív ház építésben, a megújuló energiák térnyerésének erősítésében a fosszilis energiafelhasználás visszaszorításában. Érdekek ütköznek, érdekérvényesítő csoportok

„lobbiznak”. Rendkívül fontosak azok az európai törekvések, amelyek megértésre, megegyezésre, önkorlátozásra ösztönöznek és nyilvánosságot biztosítanak.



11.1. kép: Hagyományos és korszerű izzók vizsgálata

Balról jobbra: wolframszálas izzó; halogén izzó; kompakt izzó; kompakt, burkolt izzó; LED-es izzó
Bal oldal: 63 W villamos teljesítmény / 5130 Lux; Jobb oldal: 2 W villamos teljesítmény, 3920 Lux

Kérdéstár

1. Jelölje meg az egyszerű gépeket!

- a) íjhajtású eszterga
- b) lejtő
- c) kézi malom
- d) eke
- e) álló és mozgó csiga
- f) görgő

2. Jelölje meg az energiahatékonyság mértékegységét!

- a) $\frac{KJ}{KJ}$
- b) $\frac{USD}{GJ}$
- c) $\frac{EUR}{GJ}$
- d) $\frac{GJ}{USD}$

3. Miért használta és használja az ember a nem megújuló energiákat? Helyes választ/válaszokat jelölje!

- a) Mindenhol rendelkezésre áll.
- b) Könnyen kiaknázzható.
- c) Az emberiség energiaigénye csak megújuló energiákból nem fedezhető.
- d) Az energiaigény nagy növekedése miatt minden forrásra szükség van.

4. Mi jellemzi a technikai rendszert? Helyes választ/válaszokat jelölje!

- a) Transzfer elemei: anyag, energia és információ.
- b) A természet hozta létre.
- c) Az ember hozta létre.
- d) A rendszert a környezettől a perem választja el, ez lehet tökéletes szigetelő.
- e) A rendszert a környezettől a perem választja el, ez nem lehet tökéletes szigetelő.
- f) A rendszeren belül folyamatok és részfolyamatok értelmezhetők.

5. Rajzolja fel a 11.1. képek alapján az izzók villamos teljesítményére (W) vonatkozó megvilágítási (Lux) értékpárjait! A hiányzó adatok: 63 W/4000 Lux; 10 W/ 3500 Lux; 10 W/3200 Lux.

Mitől függ a mért megvilágítási érték?

Milyen hátrányai vannak az új izzóknak?



12. Energia és a társadalom

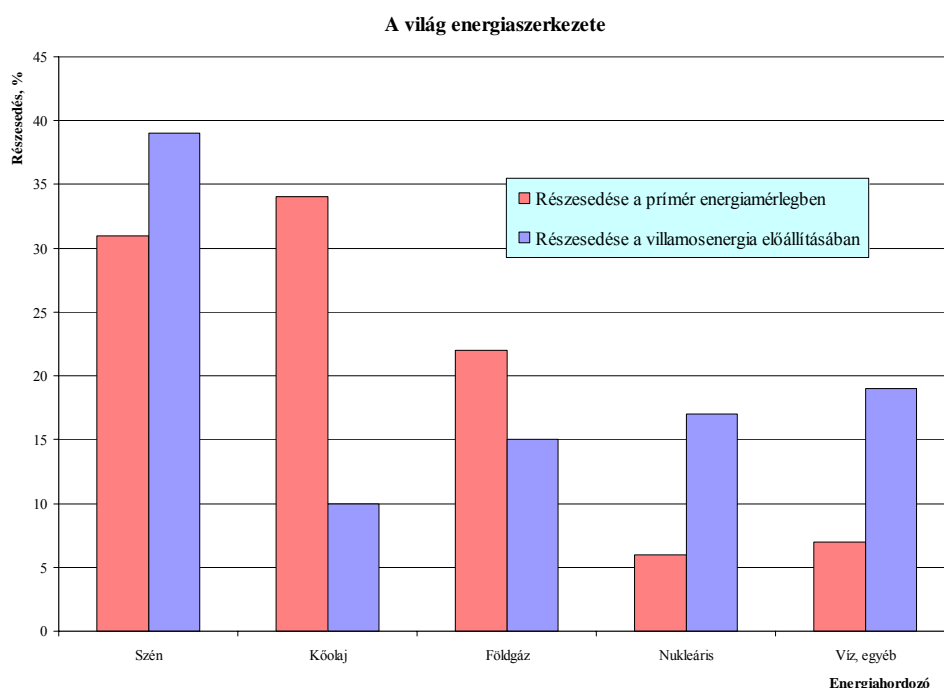
Ahhoz, hogy a mai társadalmak energiához kapcsolódó viszonyát felismerhessük, megérthessük át kell tekintenünk a múltat, azt a csodálatos fejlődést és környezet átalakítást, mely az elmúlt 35 ezer évet jellemezte.

Amint azt már bemutattuk, az első emberi közösségek harmóniában éltek a természettel, kímélték, ugyanakkor használták. Sikerült olyan dinamikus egyensúlyt teremteni, amelyet egy teljesen természetes fenntarthatóság jellemezett, anélkül, hogy ez tudatossá és elvonttá vált volna. Ebben az időszakban az ember biológiai energiaigényét közvetlenül, a még majdnem háborítatlan természeti környezetből vonta el. Természetesen a termékek „begyűjtése”, az elhullott és sérült állatok húsának fogyasztása, az élő szervezetek életterét befolyásolta, rendszerint csökkentette. Az ember igényei azonban egyre nőttek, kezdetben csak saját erejét hasznosította munkavégzésre. Az energiafelhasználását ~ 10 MJ/nap-ra becsülték.¹ Ez az érték még csak a kezdeti „tápláló tüzelés” energiáját vette figyelembe, de a tűz „konyhatechnikai”, melegedési, világítási, erdőirtási, fagegmunkáló alkalmazásával, az állatok háziasításával és a mezőgazdasági- és kézműves termeléssel (szerszámkészítés, termékgyártás, kerámia készítés és fémfeldolgozás) egyre több energiát használt fel az ember. A napi energiafelhasználás a 19. századra elérte a ~ 350 MJ/nap értéket. A termelés és a fogyasztás összhangja általában nem sérült, de bizonyos helyszíneket rendkívüli éhínség, elszegényedés jellemezte. Az energiafelhasználás még döntő módon a megújuló energiákból történt.

Az ipari forradalom időszakától származtathatjuk a fa intenzív – megújulást gátló ütemű – felhasználását, a nem megújuló energiaforrások igénybevételét. A külső-, majd a belső égésű motorok megjelenése, a földgáz közvetlen vagy közvetett fűtési felhasználása, a villamosenergia előállítása és sokoldalú felhasználása, az „egekig” emelte az energiafogyasztást. A mai kor energiafelhasználása rendkívül összetett, területileg aránytalan, csak Európában a primer tüzelőanyag felhasználás: 136 GJ/fő, év. A

¹ Szűcs Ervin–Schiller István: Technika és energia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987. pp. 123–128.

világ összes primerenergia felhasználásának figyelembevételével, 2000-es becslés: az egy főre eső világátlag: ~ 70 GJ/fő,év.² A fogyasztás szerkezetét szemlélteti a 12.1. ábra, amely a primér energia eloszlást és a villamosenergia termelésben való részesedést mutatja 2001-es adatok alapján.



12.1. ábra: A világ energiaszerkezete

Forrás: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp.34–35.

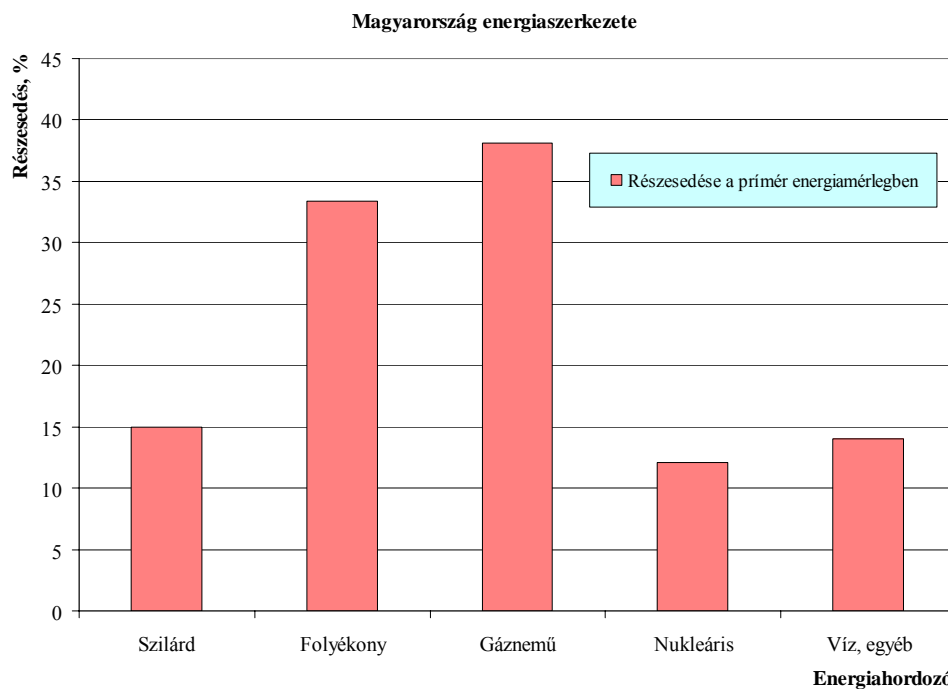
Az Unió Megújuló Energia Direktívája szerint az EU-ban 2020-ra a teljes energiafogyasztás 20%-nak megújuló energiaforrásból kell származnia. Magyarország 13%-ot vállalt (jelenlegi hányada: 3%).³

A hazai primér energiaszerkezet 2001-es állapotát a 12.2. ábra mutatja. Ennek az ábrának az alapadatai kissé eltérőek a 12.1.-től. A grafikon a

² A mai napi energiafogyasztás személyenként, átlagban 70000 MJ, amely 7000 őskori ember (\sim ugyanennyi természeti civilizációban élő ember) fogyasztásával egyenértékű. A hazai végső primérenenergiafelhasználás 1999-ben 68 GJ/fő,év.

³ Népszabadság, 2011. január 29. 3. oldal; Hargitai Miklós

hazai és az import adatokat együttesen tartalmazza, a szén helyett az összes szilárd energiahordozóra, illetve az összes folyékony (kőolaj frakciókra is) energiahordozóra vonatkozik.



12.2. ábra: Magyarország energiaszerkezete

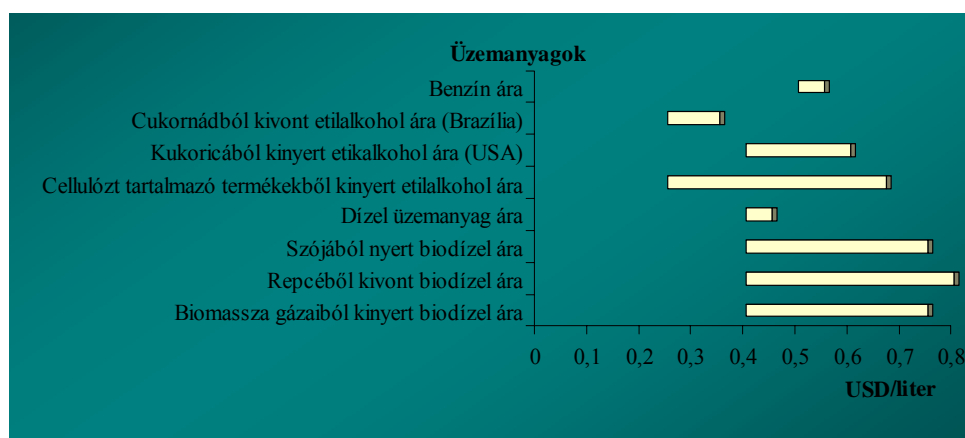
Forrás: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp.36–37.

A fenti, rövid vázlatból is érzékelhető, hogy az energia felhasználás szoros kapcsolatban van a vizsgált terület energetikai adottságaival, műszaki infrastruktúrájával, társadalmi viszonyaival, a lakosság életszínvonalával, életmódjával. Fontos észrevenni, hogy a különböző országok ma már kevésbé elszigeteltek egymástól, ezért olyan fejlődést elképzelni, amely szerint egyes országok „régimódon” elzárkóznak és csak kívülállóként figyelik más országok „kiugrását” szinte lehetetlen. A mobilizáció, a migráció a telekommunikáció révén a kapcsolatok mélyülnek, a változások lehetőségei egyre inkább fenn állnak.

Az energetikai nyersanyagok gyakran a kevésbé fejlett területeken állnak még rendelkezésre, ezért ezek mind korszerűbb eszközökkel való kiaknázása, exportálása hatást fejt ki a közösségekre, a társadalmakra.

A kínai gazdaság „viselkedésének” megismerése segíthet abban, hogy egy változó társadalom és az energia néhány összefüggését megérthessük. Kína ma a világ 2. legnagyobb kőolajfogyasztója. Az olaj importálása jelentős terhekkel jár, ezért 2005-től bioüzemanyag termelési közösségi programokat vezettek be. 2020-ra az ország energiafelhasználásának 10%-át megújuló energiával kívánják kielégíteni. Ma Kínában mintegy 200 etilalkohol gyártó üzem működik, az ország benzin fogyasztásának ~2,5%-át adja. 2020-ra Braziliát és az Egyesült Államokat kívánják utolérni. A tervek és a megvalósítás tapasztalati nyomán azonban több kétség is megfogalmazódott: ha sok gabonából bioüzemanyagot készítenek, az élelmezési gabona ára növekszik, importálni kell a gabonát, így a nagy volumenű autógyártás – vevő híján – meghiúsulhat.⁴

A különböző gépjármű üzemanyagok árviszonyainak összehasonlítása segíthet a problémakör megértésében. (12.3. ábra)⁵



12.3. ábra: Üzemanyagok nagykereskedelmi és termelési költségeinek skálája

Forrás: Suzanne C. Hunt–Janet L. Sawin–Peter Stair: Megújuló energiaforrások fejlesztése. In: A világ helyzete, 2006. Föld Napja Alapítvány, 2006. pp. 98–99.

⁴ Suzanne C. Hunt–Janet L. Sawin–Peter Stair: Megújuló energiaforrások fejlesztése. In: A világ helyzete, 2006. Föld Napja Alapítvány, 2006. pp. 93–114.

⁵ A táblázat a benzin és a dízel üzemanyag árait 60 USD / hordó kőolaj áron veszi figyelembe. Jelenleg a kőolaj világpiaci ára ~80 USD / hordó.

12.1. Beruházások, fejlesztések

A különböző energetikai tervek akkor valósíthatók meg, ha azokhoz a szándékon kívül az anyagi fedezetek is rendelkezésre állnak. Az energetikai beruházásoknak manapság a következő típusait ismerhetjük fel:

- A meglévő berendezések kedvezőtlen környezeti hatásainak mérséklése (légszennyező anyagok (por, pernye, korom, CO, NO_x, SO₂) kibocsátásának csökkentése, zajhatás csökkentése, talaj és a vizek károsításának gátlása, tájrendezés);
- Megújuló energiák alkalmazása villamos energia előállítására (Nap, szél, víz, hullám, ár-ápany, földhő, biomassza) sziget és park üzemmódban;
- Nem megújuló energiák felhasználásának mérséklése, pótlásuk bioüzemanyagokkal;
- Energiatakarékos, passzív épületek tervezése és kivitelezése;
- Energiatakarékos berendezések (közösségi járművek, háztartási gépek, ...) kifejlesztése, használata);
- Műszaki megoldások hatásfokainak javítása;
- Energiahatékonyság növelése;
- Beruházások új szemléletű előkészítése (nyílt és tárgyszerű tájékoztatás, civil szervezetek bevonása);
- Környezeti hatástanulmányok elkészítése. elemzése és bemutatása;
- Nemzetközi egyezmények betartása, szomszédos országokkal egyeztetések megszervezése;

Az energetikai beruházásokra vonatkozóan néhány fő szakmai irányt lehet felismerni:

- Az „Edison” elvű energetikai beruházásokat támogatják, mert ezek a termelést decentralizálják, így egyéb gazdasági és foglalkozáspolitikai hatásaik is érvényesülnek. Ezek a lakossági félelmeket mérsékelik. Ellenpontként a nagy monstrum erőműveket (atom-, víz-) be kívánják zárni.
- A megújuló energiaforrásokat részesítik előnybe, ezek közül is elsősorban a napenergia és a szélenergia hasznosítását. Két álláspont fogalmazódik meg:
 - Ezek a beruházások rendkívül drágák, megtérülésük hosszú ideig tart, ezért elsősorban lokális alkalmazásukra van lehetőség. Jelentős erőművi felhasználás esetén rendkívül nagy felü-

leteket igényelnek, így kedvezőtlen gazdasági hatásokat (pl. a mezőgazdaságban) generálnak.

- A jövőnek a legpotenciálisabb összetevője: a napenergia. Fotoelektromos elemekkel az emberiség jelenlegi energiaigényét a földfelszín viszonylag kis felületén elő lehetne állítani (pl. a Szahara 600 km²-es felületén). Hasonlóan kedvezőek a szél energetikai felhasználásra vonatkozó elképzelések (pl. Európa teljes villamosenergia igényét lehetne szélerőmű farmokkal biztosítani. E két forrásból nyert energia szolgálhatná az alapot a hidrogén előállításához.⁶
- A hő és a villamos energia kombinálásának technológiájával (CHP=Combined Heat and Power) a hatékonyság nő (pl. biomassza erőművek esetén).
- A megújuló energiák épületen belüli alkalmazásában terjednek a „mikroenergetikai” rendszerek. Ezek segítségével új szemléletű energiaellátás valósítható meg. Az ún. „energiainternet” kis hálózatai önállóan és kapcsolva is képesek működni.⁵

A társadalom működésének egyik fontos pillére a növekvő energiaigények megfelelő szinten való kielégítése. Az energiatermelés és elosztás azonban visszahat a társadalomra a környezeti hatásokat mérsékelni kell, hogy a jövő társadalmi is működőképesek, fenntarthatók legyenek.

Kérdéstár

1. A világ primér energiaszerkezetében mely energiahordozó volumene a legnagyobb?

- a) Szén
- b) Nukleáris energia
- c) Földgáz
- d) **Kőolaj**
- e) Egyéb

⁶ Jeremy Leggett: A fele elfogyott. Typotex, Budapest, 2008. pp.184–189.

2. Milyen sorrendet foglalnak el a hazai energiahordozók? (1-5)

| | | |
|----|-----------|---|
| a) | Szilárd | 3 |
| b) | Folyékony | 2 |
| c) | Gáznemű | 1 |
| d) | Nukleáris | 5 |
| e) | Egyéb | 4 |

3. A 12.3. ábra alapján középértékeket (árakat) figyelembe véve érdemes-e szója / repce / biomassa eredetű biodízzel kiváltani a dízelolajat?

- a) igen
- b) **nem**

4. Válassza ki az alábbi állítások közül az igazakat!

- a) **Az Edison elv szerint kisméretű, helyi adottságokhoz igazodó villamos-energia ellátást jelent.**
- b) Az emberiség a jövőt nem megújuló energiák alkalmazásával képzei el.
- c) A megújuló energiaforrások alkalmazása olcsó és hamar megtérül.

5. A CHP erőmű és energia összekapcsolását jelenti.

6. Melyek egy helyi erőmű létesítésének fontos kritériumai?

- a) **Egy települést vagy régiót szolgáljon ki villamos-energiával.**
- b) **Hiány esetén vételezhessen villamos-energiát az országos hálózatról.**
- c) A közösség támogatása nem szükséges, elegendő a szakemberek véleményét figyelembe venni.
- d) Az erőmű felépítése előtt hatástanulmányt kell készíteni.
- e) **A primér energiahordozót tetszőleges távolságról szállítják az erőműbe.**

13. Energetikai–környezeti problémák és hatásrendszerek

A mai kor főbb energetikai problémái abból adódnak, hogy egyre több energiát fordítunk közlekedésre, szállításra, miközben a kedvezőtlen hatásaival egyre nehezebben birkózunk meg. Nem mondunk le a lakásaink, épületeink fűtéséről–hűtéséről, folyamatosan kellemes közérzet elérésére törekszünk. Elektromos energiaigényünk növekedését is egyre nagyobb erőfeszítésekkel, költségekkel és környezeti károsítással érjük el.

Ebben a fejezetben a közlekedés hatásrendszerét vázoljuk fel és az épületek energetikájának néhány időszerű kérdését elemezzük.

13.1. Közlekedési hatásrendszer

A településekhez kapcsolható közlekedés hatásrendszere a fenti elvi rendszer alapján megfogalmazható. Példaként a gépjármű-közlekedés hatásrendszerének vázlatát mutatja be az 1. táblázat.

| Konfliktust kiváltó ok | Elsődleges hatás | Másodlagos hatás | Harmadlagos hatás | Hatásviselő | |
|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Gépjárműforgalom | Utak állagának romlása | Porképződés | Lerakódás növényekre | ÉLŐVILÁG | |
| | | | Lerakódás épületekre | ÉPÍTETT KÖRNYEZET | |
| | | | Kocsi mosás | VÍZ, TALAJ | |
| | | Műszaki károk | Költségnövekedés | Alkatrész selejtezés | FÖLD, TÁJ |
| | | | | Forgalomlassulás | Idegi hatások |
| | | Balesetveszély | Költségnövekedés | Légszennyezés nő | LEVEGŐ, EMBER |
| | | | | Egészségkárosodás | EMBER |
| | | Levegő szennyezése | Levegőminőség romlás | Növény károsodás | ÉLŐVILÁG |
| | | | | Lerakódás épületekre | ÉPÍTETT KÖRNY. |
| | | | | Korrózió | ÉPÍTETT KÖRNY. |
| | Szmogképződés | | Légúti betegségek | Légúti betegségek | EMBER |
| | | | | Egészségkárosodás | EMBER |
| | Idegi terhelés | EMBER | | | |
| | Költségnövekedés | EMBER | | | |

13.1. táblázat/1: Települési gépjármű-közlekedés hatásrendszere (vázlat)
[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: BAKÁCS T.–BARNA B. 1999, RÉDEY Á.–MÓDI M. 2002a]

| Konfliktust kiváltó ok | Elsődleges hatás | Másodlagos hatás | Harmadlagos hatás | Hatásviselő | | |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|------|
| | Zajsint nő | Állatvilág zavarása | | ÉLŐVILÁG | | |
| | | Idegi terhelés | | EMBER | | |
| | | Halláskárosodás | | EMBER | | |
| | | Védőfalak létesítése | Területfoglalás | | ÉPÍTETT K., TÁJ | |
| | | | Költségnövekedés | | EMBER | |
| | | Esztetikai beavatkozás | | TÁJ | | |
| Gépjárműforgalom | Rezgések | Épületek károsodnak | Költségnövelés | ÉPÍTETT K., EMBER | | |
| | | Egészségkárosodás | | EMBER | | |
| | Parkolási igény nő | Forgalomtorlódás | Idegi terhelés | | EMBER | |
| | | | Balesetveszély | | EMBER, ÉPÍTETT K. | |
| | | | Légszennyezés nő | | LEVEGŐ, EMBER | |
| | | Területfoglalás | Költségnövekedés | | ÉPÍTETT K., EMBER | |
| | | | Zöld felület csökken | | ÉLŐVILÁG | |
| | Információs táblák l. | Talaj vízháztartása v. | | VÍZ, FÖLD | | |
| | | Esztetikai beavatkozás | | ÉPÍTETT K., TÁJ | | |
| | | Információs túlterhelés | | EMBER | | |
| Gj. mosási igény nő | Víz-, vegyszerigény nő | Költségnövelés | | EMBER, FÖLD, VÍZ | | |
| | | Költségnövelés | | EMBER | | |
| | Víz tisztító létesítése | Befogadók terhelése nő | | FÖLD, VÍZ | | |
| | | | | | | |
| Utak karbantartása | Forgalomtorlódás | Balesetveszély | Költségnövelés | EMBER | | |
| | | Forgalomlassulás | Idegi terhelés nő | EMBER | | |
| | Légszennyezés | Levegőminőség romlása | Légúti megbetegedések | | EMBER, ÉLŐVILÁG | |
| | | | | | EMBER | |
| | Zaj, rezgés | Idegi terhelés | | EMBER | | |
| | | Épületek károsodnak | Költségnövelés | | ÉPÍTETT K., EMBER | |
| | Elkerülő utak létesítése | Forgalomnövekedés | Idegi terhelés | | EMBER | |
| | | | Taposási károk | | ÉLŐVILÁG, FÖLD | |
| | | Úthossz növekedése | Költség nő | | EMBER | |
| | Utak építése | Területfoglalás | Termelés felhagyása | Jövedelem elmaradás | EMBER | |
| Erdők irtása | | | Ökoszisztémák tönkretétele | ÉLŐVILÁG | | |
| Vízszennyezés | | Vízrendszer módosítása | Földmunkák | VÍZ, FÖLD | | |
| Erdősávok létesítése | | Költségek növekedése | | ÉLŐVILÁG, EMBER | | |
| Kerítések készítése | | Vadak útjának bef. | Vadállomány csökk. | ÉLŐVILÁG | | |
| Munkagépek üzemé | | Légszennyezés | | | LEVEGŐ, ÉLŐVILÁG | |
| | Zaj, rezgés | | | ÉPÍTETT K., ÉLŐVILÁG | | |
| Gépjármű karbantartás | Gumiabroncs kopása | Légszennyezés | Növényzet károsodása | ÉLŐVILÁG | | |
| | Gumia. selejtezése | Helyfoglalás | Esztetikai beavatkozás | FÖLD, TÁJ | | |
| | | Égetés | Légszennyezés | ÉLŐVILÁG, EMBER | | |
| | Akkumulátorcsere | Helyfoglalás | Esztetikai beavatkozás | | FÖLD, TÁJ | |
| | | | Savgőzök | Légszennyezés | LEVEGŐ | |
| | | | | Talajszennyezés | FÖLD | |
| | | Ólomvegyületek | | Vízszennyezés | | VÍZ |
| | | | | Talajszennyezés | | FÖLD |
| | | | Vízszennyezés | | VÍZ | |
| | | | Ökoszisztémák kár. | | ÉLŐVILÁG, EMBER | |

13.1. táblázat/2: Települési gépjármű-közlekedés hatásrendszere (vázlat)
[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: BAKÁCS T.–BARNA B. 1999, RÉDEY Á.–MÓDI M. 2002a]

13.1. Épületek környezeti kapcsolatai

Ebben az alfejezetben a lakóépületek energetikai problémáit foglaljuk össze. Bemutatjuk, hogy van mozgáster az energia megtakarítására és a tudatos építésre és üzemeltetésre.

David J.C. MacKay nyomán az Egyesült Királyságban a jelenlegi és a jövőbeni három alapenergia fogyasztás eloszlását a 13.1. táblázat mutatja.¹

| | 2008 | 2050 |
|--------------------------------|------------|------------|
| <i>Elektromos berendezések</i> | 18 kWh/nap | 18 kWh/nap |
| <i>Közlekedés</i> | 40 kWh/nap | 20kWh/nap |
| <i>Fűtés</i> | 40kWh/nap | 30 kWh/nap |

13.1. táblázat: Nagy-Britannia egy főre eső energia felhasználása

Az épületek üzemeltetésére fordított *fűtési energia* (fűtési hőszükséglet) a hőátbocsátási és szellőzési eredő *hővesztések és a hőnyereségek* (napenergiából nyert, belső) különbsége.^{2,3}

A lakóépületek adottságai jelentősen befolyásolják a fűtésre fordítandó energiahányadot. Ezek közül a legfontosabbak:

- az építőanyagok;
- a tájolás;
- hőszigetelés;
- hőhidak;
- nyílászárók üvegezése;
- légtömörség;
- közműrendszer hővisszanyerése;
- szellőzés hővisszanyerése.

A kedvező kialakítások mellett is általában szükség van kiegészítő *aktív berendezésekre*, így napkollektorokra (HM, fűtésegység átmeneti időszakban), napenergia tároló rendszerekre, hőszivattyúkra, napelemekre, (kiegészítő) fűtésre. A hazai lakosság komfort elvárása általában túlfűtést igényel. Külön berendezéseket kell beépíteni fürdőmedencék, szaunák, fürdőszobák üzemeltetésére, melyek az egész ház energetikáját és energia igényét meghatározhatják.⁴

¹ David J.C. Mackay: Fenntartható energia – mellébeszélés nélkül (www.withouthotair.com).

² Adolf-W. Sommer: Passívházak. PHM, 2010.

³ Zöld András: Energiatudatos építészet. Műszaki könyvkiadó, 1999.

⁴ Gyakorlati tapasztalat: 1 °C belső hőmérsékletcsökkentés (termosztát átállítás) közel 10% fűtési energia megtakarítást jelenthet.



13.1. kép: Belvárosi ház belső terének élhető kialakítása energiatakarékos is



13,2, kép: Szoláris építészeti elemeket felvonultató, jól tájolt lakóház



13.3.a–13.3.b. kép: Ökocentrikus házak



13.3. kép: Modern, klímataudatos építészeti? Milánó



13.4. kép: Korszerű lakás épületgépészeti részlete



13.5. kép: Uszodai épületgépészet részlet



13.6. kép: Uszómedence hőszigetelő zsaluval



13.7. kép: VITOCROSSAL 300 gázkazán⁵

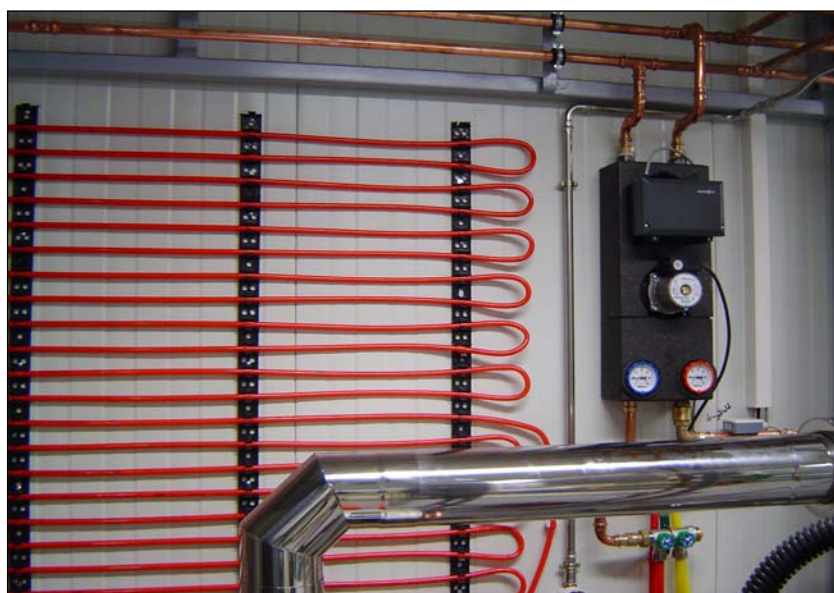
⁵ VITOCROSSAL 300

Folyamatos szabályozású gázüzemű kondenzációs kazán Inox-Crossal fűtőfelülettel MatriX sugárzóegővel. Névleges hőteljesítmény: 8,4-65 kW

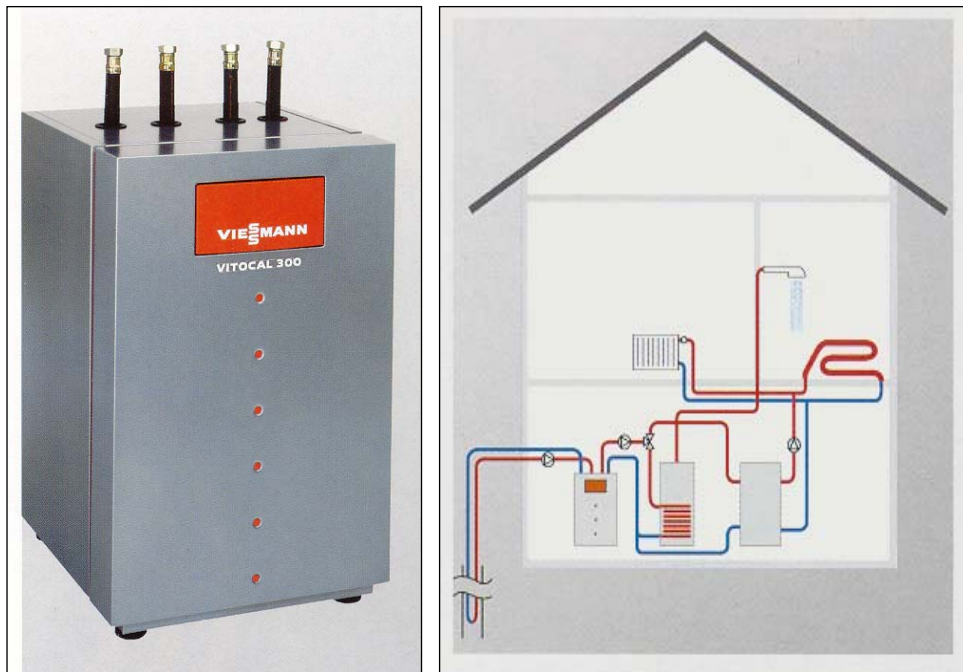
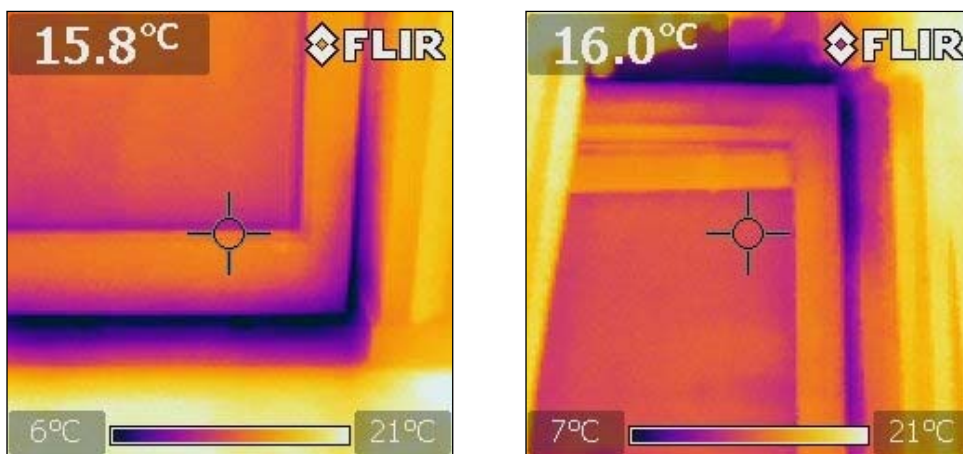
13.7-13.10. képek: a felhasználó engedélyével.



13.8. kép: Gázkazán szerelés alatt

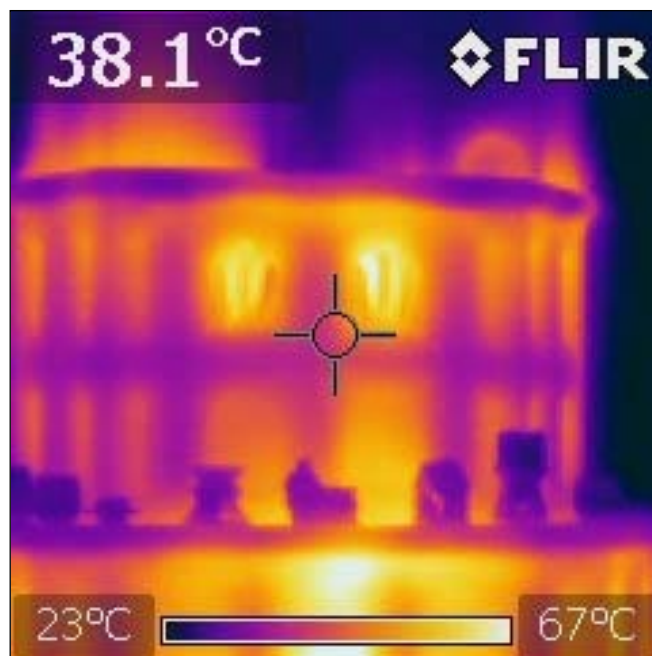


13.9. kép: Rehau falfűtési rendszer laboratóriumban

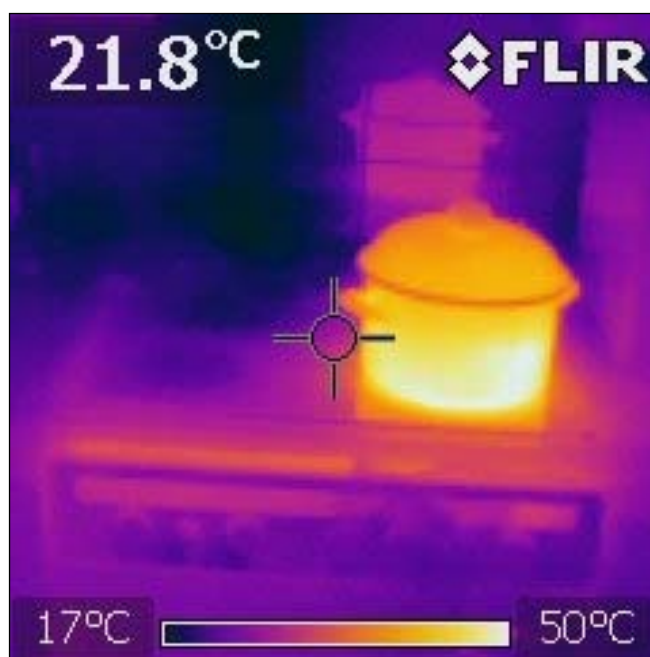
13.10. kép: Vitocal 300 hőszivattyú rendszer⁶

13.11–13.12. kép: Teraszajtó alsó és felső sarkának belső termikus képe

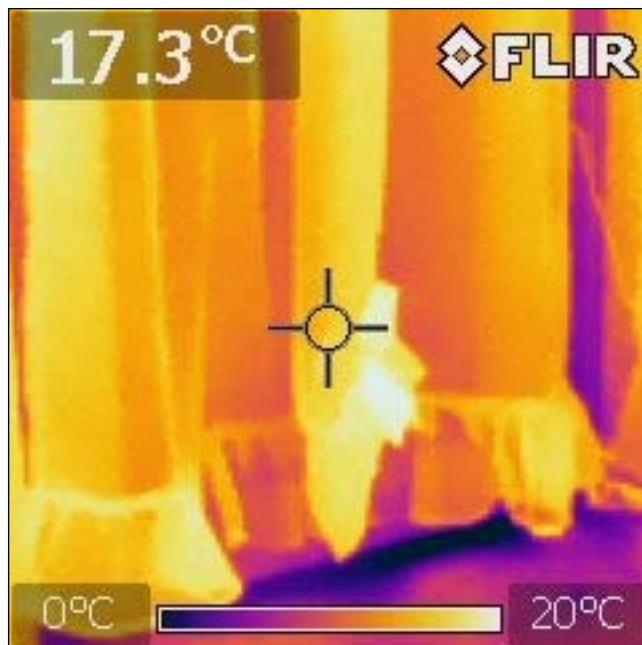
⁶ A Vitocal 300 hőszivattyú földkollektorok vagy szondák, segítségével hőt von el a földről. Mivel a talajban egész évben csaknem egyenletes a hőmérséklet, a VITOCAL 300 hőszivattyú teljesítménye lényegében független a külső hőmérséklettől, és hideg napokon is kielégíti egy épület teljes hőigényét. A Vitocal 300 a a fűtéshez és a melegvíz-ellátáshoz egész évben felhasználható. Az épületgépészeti laboratóriumban a külső levegőből vonja el a hőt.



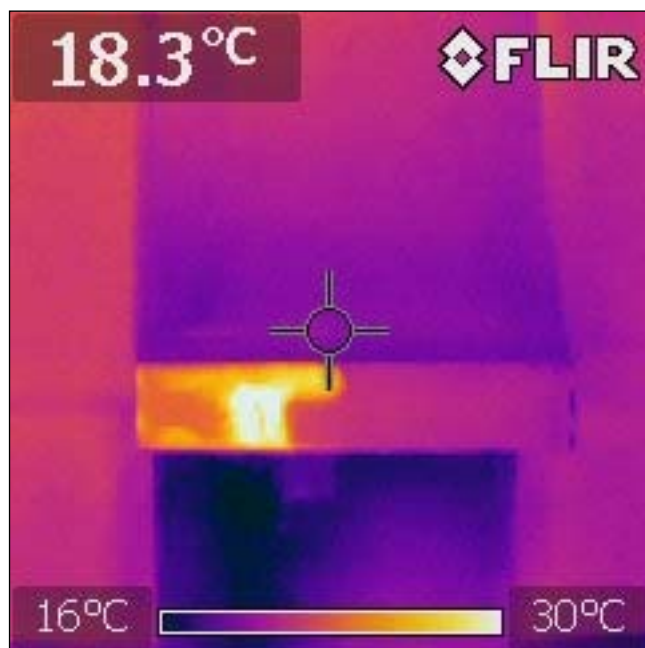
13.13. kép: Kandalócserepkályha felfűtés alatt



13.14. kép: Keramialapos tüzhely használat közben



13.15. kép: Teraszajtó előtti függöny hatása



13.16. kép: Konyhai elszívó hatása

Kérdéstár

1. Jelölje be az alábbi felsorolásból a hatásviselőt!
 - a) porképződés
 - b) növény károsodás
 - c) szmogképződés
 - d) levegő
 - e) idegi hatások
2. Milyen hatásokat nem vált ki az utak általi területfoglalás?
 - a) költségnövekedést
 - b) zöld felület csökkenését
 - c) talaj vízháztartását megváltoztatja
 - d) erdők irtását
 - e) mezőgazdasági termelés növekszik
3. Egészítsd ki az alábbi mondatot!
 - a) Az épületek üzemeltetésére fordított fűtési energiaés akülönbsége.
4. Elemezze a fényképeket az alábbi szempontokból!
 - a) tájolás
 - b) építőanyag
 - c) bonyolultság
 - d) kivitel minősége
 - e) újszerűsége
5. Milyen információkhoz jutunk a termográfia segítségével?
 - a) Leolvashatjuk a távozó hőt.
 - b) Leolvashatjuk a termelődő hőt.
 - c) Megállapíthatjuk a hőveszteség helyeit.
 - d) Megállapíthatjuk a hőveszteség okait.
 - e) Megállapíthatjuk bármely térbeli pont hőmérsékletét.

14. Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben I.

Az energiamenedzsment¹ – értelmezésünk szerint – az energiákkal való gazdálkodás irányítása. Ez vonatkozhat a primér és a feldolgozott energiákra és mindazon rendszerekre, amelyek energiát termelnek, szállítanak, vagy felhasználnak.

Az energiamenedzsment rendszereket az energiahatékony megoldásokra, az energia felhasználás csökkentésére, a biztonságos működtetésre, ... irányuló törekvés jellemzi.

Az energetikai rendszerek életünkben fontos szerepet töltenek be. Ezek közül elsőként a közlekedési rendszerhez kapcsolódó megoldásokból mutatunk be néhányat. Egy gépjárműtechnikai rendszer adatokat, mérési értékeket, működési jelzéseket, hibajelzéseket, karbantartási jelzéseket szolgáltat és végrehajtja a tervezett programokat.

Az emberiség által felhasznált energia jelentős részét a közlekedésben használják fel.² A városok (települések) közlekedése két alapelv szerint szervezhető:

– Az extenzív koncepció szerint: a mobilitás fontosságát hangsúlyozzák, az újabb közlekedési feladatok ellátására újabb közlekedési pályákat építenek. Hazánkban az új autópályák átadásával a forgalom növekedésére lehet számítani.

– Intenzív koncepció szerint, a közlekedési szükségletek csökkentésére törekednek (közlekedési tértátrő csökkentése, úthossz rövidítés, sebesség növelés).

Felismerhető törekvés a közlekedési idő és a felhasznált energia csökkentése. Ha a közlekedési idő csökkentésére törekszünk, akkor ez a sebesség növekedéséhez, a parkolási idő meghosszabbításához vezethet. A felhasznált energia csökkentésére számtalan mód van, de ezek többsége ellentétes hatásokat exponál.³

¹ Power Management=PM

² David J.C. Mackay: Fenntartható energia – mellébeszélés nélkül (www.withouthotair.com). Az Egyesült Királyságban napi 50 km autózáshoz 40 kWh/nap energiaszükségletet jelent. Ezt az energiát elő lehet állítani: 20 kWh/nap szélenergia, 13 kWh/nap napkollektor hő és 4 kWh/nap hullámenergia összegével.

³ Erdősi Ferenc: A kommunikáció szerepe terület- és település fejlődésében. VÁTI, 2000, Budapest, pp. 342–345.

14.1. A városi közlekedés energetikai megközelítése

A gépjármű-közlekedés anyagi infrastruktúrájának meghatározó eleme az energiaellátás, melynek közvetlen és közvetett hatásrendszere csak részben feltárt nemzetgazdasági, regionális és helyi szinten.

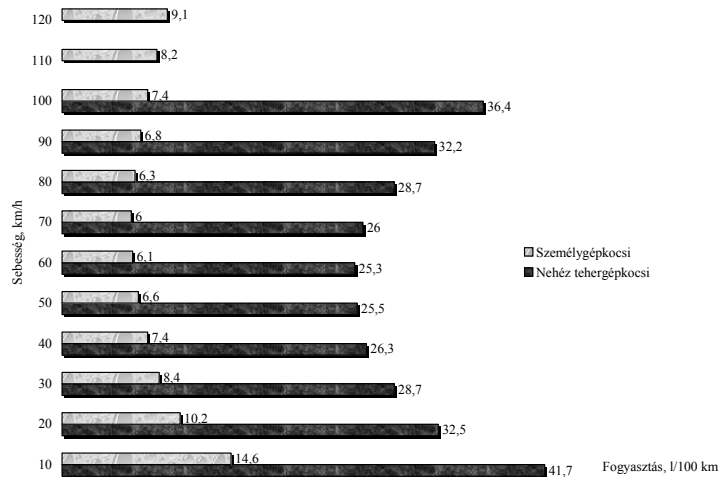
14.1.1. A primér energetikai folyamat

A hagyományos üzemű gépjárművek működtetéséhez felhasznált energiahordozók (gáz, benzin, gázolaj) kémiaiilag kötött formában tartalmazzák azt az energiát, mely a járműmotorban égési folyamat révén hővé, majd ennek a hőnek egy része – a termodinamika második főtétele értelmében – mechanikai munkává alakul, míg a többi a környezetbe kerül.

14.1.2. Az üzemanyag-fogyasztás jellemző értékei

A gépjárművek üzemanyag-fogyasztása számtalan tényező függvénye. Ezek közül kiemelhetők: az üzemanyag tulajdonságai, az erőgép konstrukciós és üzemi jellemzői, a jármű konstrukciós és üzemi jellemzői, a forgalmi-logisztikai jellemzők és a gépjárművezető üzemeltető tevékenysége.

A 14.1. ábra egy átlag személygépkocsira és egy átlag nehéz tehergépkocsira vonatkozó, különböző sebességekre érvényes fogyasztási adatokat mutatja be. A 40–70 km/h sebesség közötti tartomány – ahol a legkedvezőbbek a fogyasztási adatok – nem jellemző sem a városi, sem a városon kívüli üzemre.



14.1. ábra: Gépjármű üzemanyag-fogyasztása a sebesség függvényében
[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: SCHUCHMANN G.–KISGYÖRGY L. 2004. p. 82.]

14.2. Globális és lokális energiafelhasználás, veszteségcsoportok

A belsőégésű motor üzeme során – a szabályozó rendszerek együttműködése révén – a mindenkori igénynek megfelelő energiaátalakítás történik. Az erőgép elméleti hatásfoka ~30%. A motor termikus veszteségei mellett jelentős energia-hányad fordítódik a közvetlen és közvetett áramlási és mechanikai veszteségekre. Ezek közül néhány: a szelepek okozta veszteségek, az üzemanyag-ellátás okozta veszteségek, a kipufogógázt tisztító segédberendezések működtetési veszteségei, az elektronikai berendezések veszteségei. Ebbe a csoportba sorolhatók tehát a légszennyezés csökkentésére felszerelt oxidációs-, redukciós kamrák, a hármashatású katalizátorok és a részecskeszűrők is. Ezek fojtó hatása következtében a jármű(motor) fogyasztása jelentősen növekedhet. Ez a veszteségcsoport csak konstrukciós beavatkozásokkal és az elektronikus szabályozási rendszer korszerűsítésével csökkenthető. Így a motor „tényleges” hatásfoka ~20–25%.

Az erőgép és a munkagép üzemét – megfelelően választott szabályozási elvek alapján – a közlőmű biztosítja. Ez az összetett rendszer felel az instacioner és a stationer üzemmódban a megfelelő együttműködésért. A forgalom diktálta instacioner üzemmódban megvalósított üzem ún. integrált fogyasztása kétszerese ugyanazon út közel állandó sebességű megtétele esetén.⁴ Ez az arány jól tükröződik a személygépjárművek városi és városon kívüli közúti közlekedési fogyasztásainak összehasonlításánál, de a különböző gépjárművek kis és nagy sebességű haladása esetén mérhető fogyasztás során is (14.1. ábra). Ez a veszteségcsoport mintegy ~15% további hatásfokcsökkenést okoz.

A hajtóműn áthaladó energiafolyam részben a jármű mozgására, részben a segédberendezések közvetlen vagy közvetett energiaellátására fordítódik. Az energiafelhasználás legfontosabb tényezői: a menetellenállás, a légellenállás, a terheletlen és terhelési tömeg, a segédberendezések üzemvitele.

A jármű globális energiafelhasználása jelentős mértékben függ a forgalmi-szervezési-logisztikai összetevőktől, a telekommunikáció fejlődésétől és a önkorlátozás szintjének változásától.

Az energiafelhasználás és a veszteségek fenti elemzése alapján nyilvánvaló, hogy fontos feladat a közlekedés össz-energetikai hatásfokának javítása. Helling vizsgálatai alapján a gépjármű-közlekedés végső energetikai hatásfoka ~10 %.

⁴ Michelberger P. 1997: *A közlekedés hatása az ipar feladataira*. In: Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón. MTA, Budapest, pp. 55–71.

Vizsgálati módszere hasznosnak tekintette a jármű mozgatásához szükséges összes mechanikai munkát, bevezetett energiának pedig a nyers üzemanyag energia-tartalmát (veszteségnek tekintve a hozzá kapcsolódó előállítási, szállítási, feldolgozási munkákat). Az utas vagy teher nélküli részmozgásokat 0 hatásfokúnak tekintette, így a szállítási hatásfok csak ~5%.⁵

Az energiaveszteségek és a közlekedés hatásfokának növelése tehát alapvető feladat. Erre vonatkozóan Michelberger három energia-megtakarítási csoportot különböztet meg:

| | |
|-------------------------------|--|
| <i>Primer megtakarítás</i> | az erőforrás hatásfokának javításával; |
| <i>Szekunder megtakarítás</i> | a jármű fejlesztésével; |
| <i>Tercier megtakarítás</i> | forgalom- és fuvarszervezéssel, logisztikával. |

A csökkentéshez tudatos, összehangolt fejlesztésekre van szükség, de a települések szintjén is van lehetőség az energiafogyasztás csökkentésére és – a fentiek alapján értelmezett – hatásfok javítására. Ezt szemlélteti a 14.2. ábra, amely összefoglalja az energiafelhasználás főbb csoportjait, bemutatja a közlekedés energetikai hatásfokának értelmezését, az energia megtakarítás főbb csoportjait és azok érvényesülési területeit.

14.3. Az energiafelhasználás csökkentése települési szinten

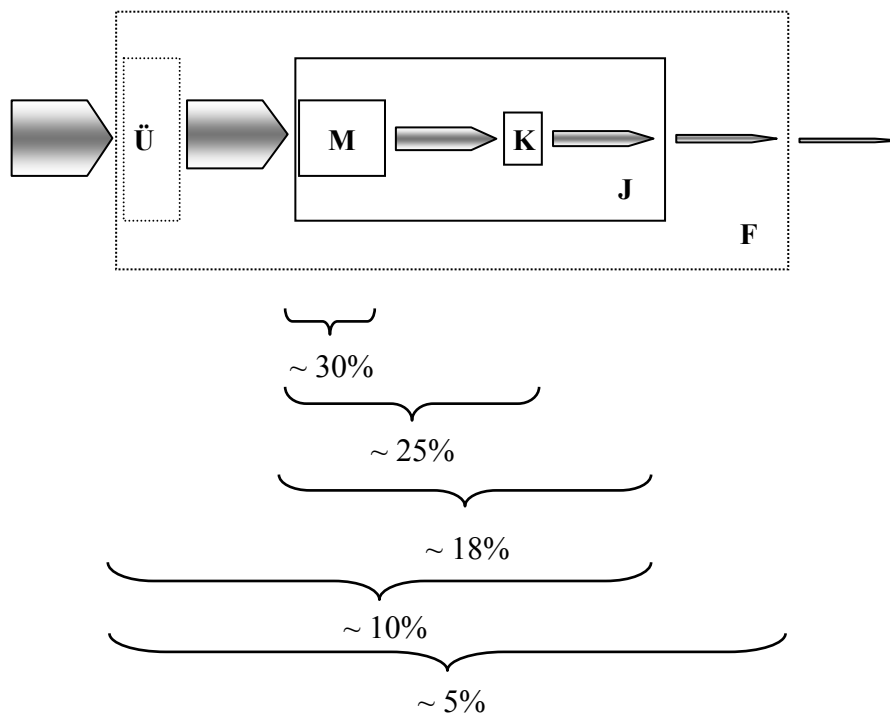
Feltehető a kérdés: A közlekedés energiafelhasználása csökkenthető-e növekvő mobilizáció mellett? – A fentiek alapján megadható a válasz: igen. Ennek feltétele, hogy a fejlesztések hatására az energia-megtakarítások üteme nagyobb mértékben csökkenjen, mint az újonnan belépő járművek energiafogyasztása. A probléma természetesen összetett, mert a kiterjedt motorizációjú országokban mind újabb és újabb modern műszaki paraméterekkel rendelkező járműveket alkalmaznak, és a járműállomány a telítettség határán van, tehát itt tényleges lehetőség van az energiatakarékosságra. A kevésbé motorizált országokban a járműállomány jelentős növekedésére lehet számítani, de ez a növekedés a rossz műszaki paraméterű, máshol már „selejtezett” járműállomány újbóli üzembehelyezését jelenti. Ez

⁵ Michelberger P. 1997: *A közlekedés hatása az ipar feladataira*. In: Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón. MTA, Budapest, pp. 55–71.

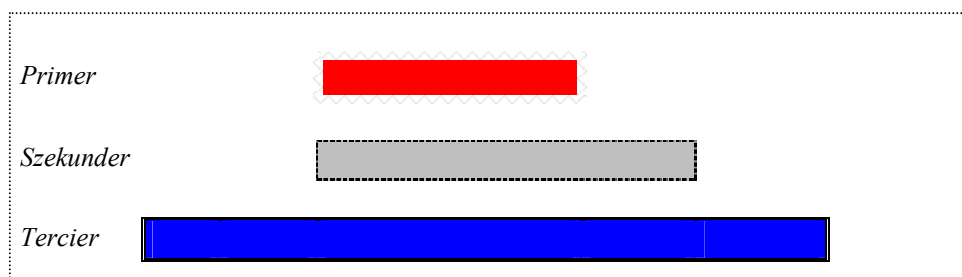
A szerző szerint a különböző közlekedési ágazatok fajlagos (tkm-re vagy utaskm-re vonatkozó) energiafelhasználása különböző: a vízi szállítás energiafelhasználását 1-nek véve, a vasúti szállítás: ~10, a közúti szállítás: ~100, légi szállítás: ~1000.

a folyamat jól megfigyelhető Nyugat-Európa és Magyarország, de Magyarország és a szomszédos kelet-európai országok között is.

Gépjármű energiafelhasználási sémája



Energiamegtakarítási csoportok



14.2. ábra: Az energiafelhasználás és az energiamegtakarítás összefüggései
[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: Michelberger P. 1997]

A műszaki jellegű fejlesztések – a primér és szekunder megtakarítás eszközei – lényegileg a felhasználóktól függetlenül folynak, erről a járművezető legfeljebb „ismeretterjesztő szinten” kap információt.

A felhasználókhöz kapcsolható tercier beavatkozás lehetőségei azonban kitágultak az utóbbi időszakban. Az úthálózat fejlesztése, az utak minőségének javítása, a településeket elkerülő utak létesítése, a lámpás csomópontok körforgalommal való felváltása, a települések forgalmi rendjének gyökeres megváltoztatása – a tömegközlekedés fejlesztése, új logisztikai központok létesítése olyan változtatások, amelyek lehetővé tehetik a közlekedés energia fogyasztásának csökkentését, de oly összetettek, hogy további problémák generálásához vezethetnek.

14.4. A primér energetikai folyamat által generált környezeti folyamatok

A működő gépjármű néhány, jól követhető környezeti folyamat kiindulópontja. Ezek közül a legismertebbek: a levegő szennyezése a füstgáz és összetevői által, a környezet zaj- és hő szennyezése, a kopó anyagok (gumiköpeny, fékbetétek, fémek) környezetbe jutása, a meghibásodásból eredő részecskék (olaj, üzemanyag, hűtővíz, leváló festékek / műanyagok / üveg / fémek) környezetbe kerülése, az üzemvitel segédanyagainak (savgőz, ablakmosó folyadék) környezetbe jutása.

A mozgó gépjármű természetesen koptatja az utak anyagát, s azokat az útfel-színre rakódott részecskékkel együtt felveri, diszperziós folyamat révén lebegő részecskékké alakítja. A felvert részecskék egy része ismét lerakódik az utakra, az út menti talajokra, növényekre, építményekre és a közlekedési eszközökre.

A részfolyamatok és a generáló folyamat összefüggéseinek vizsgálatától eltekintve itt egyetlen problémakör emelhető ki, a kipufogógázzal kikerülő szennyezőanyag mennyiségének és eloszlásának energetikai vonatkozásai.

14.4.1. Az üzemanyag-felhasználás jellemzői

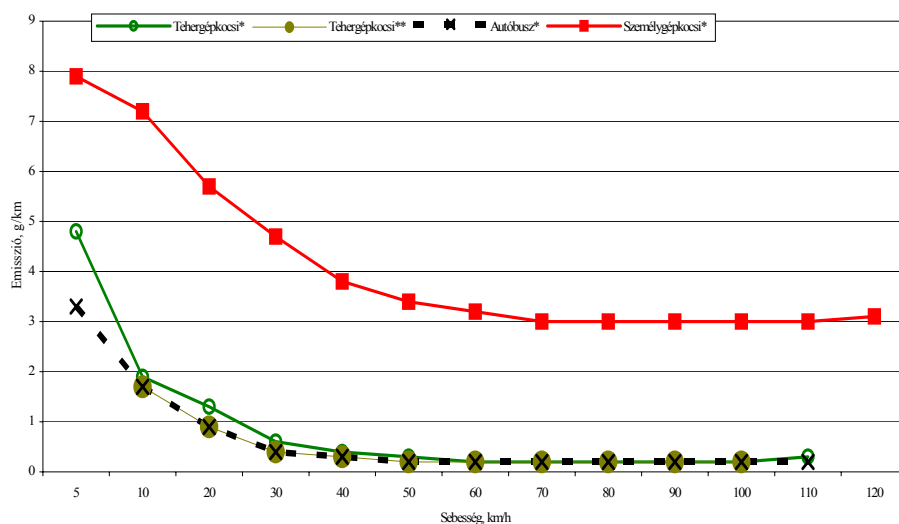
Az égési folyamat rendkívül rövid idő alatt játszódik le⁶, így az éghető anyag egy része nem képes elégni, az a kipufogógáz égéstermékeivel együtt a légtérbe kerül. Ez a hányad függ a konstrukciótól, üzemállapottól, az üzemviteltől és az üzemanyagtól. Teszt vagy fékpadi mérések során a kipufogógáz térfogatszázalékában vagy ppm-ben adják meg a C_xH_y (CH) mennyiségét, ez azonban nem tükrözi megfelelően az üzemmódtól való függést.

⁶ Ha egy négyütemű motor fordulatszámja $n=3600$ 1/min, az expanzió ideje $\sim 1/120$ sec. Ez alatt játszódik le a komplex égési folyamat.

Részletes modellszámításokhoz jobban használhatók az 1 km megtett útra vonatkozó emissziók (g/km). A mérési-számítási adatokon alapuló adattáblák diszkrét pontjait jelöli a 14.3. ábra különböző járműkategóriák és sebességek esetén. Az összetartozó diszkrét pontokat összekötő törtvonalat a trend érzékeltetése miatt szemlélteti a grafikon.⁷

A grafikon tanulmányozása alapján könnyen belátható, hogy egy személygépkocsi 3–8 g elégtelen szénhidrogént bocsát ki km-enként. Ha 40 km/óra átlagsebességgel számolunk, és 8 l / 100 km fogyasztást (0,8 g/cm³ sűrűséggel számolva ~6,5 kg / 100 km) veszünk figyelembe, ez azt jelenti, hogy a „modell” jármű 65 g üzemanyagot fogyaszt 1 km-en, és ebből 4 g-t (~6%) elégtelenül bocsát ki.

Az elégtelen üzemanyag hányadának csökkentése fontos energetikai és környezeti feladat, amelyet többirányú beavatkozással érhetünk el.



14.3. ábra: Elégtelen üzemanyag mennyisége

[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: *Rédey Á.–Módi M. 2002. pp. 28–29.;

**Schuchmann G.–Kisgyörgy L. 2004. p. 82.]

⁷ A 7/2002 (VI. 29.) GKM-BM-KvVM együttes rendelet 2. számú melléklete alapján a gyári kibocsátási értékeket kell a hagyományos Otto-motoros gépkocsik környezeti felülvizsgálatánál megengedett értéknek tekinteni. Ha ez nem áll rendelkezésre, a gyártási év függvényében adják meg a megengedett CH kibocsátásokat. A rendelet tetszőleges értéket enged meg az 1969. 07. 01. előtti gyártmányokra, a kétütemű motorokra: 2000 ppm, az 1990–1969 között gyártott motorokra 1000 ppm, az egyéb négyütemű motorokra 600 ppm, míg a négyütemű katalizátoros motorokra 400 ppm értéket enged meg. Négyütemű motorokra tehát a maximálisan megengedett érték 1000 ppm, amely a kipufogógáz térfogatára vonatkoztatva 0,1 tf%-ot jelent.

14.5. Az ember szerepe a közlekedési-energetikai-környezeti problémák megoldásában

Régóta ismert, hogy a gépeket használók többsége nem ismeri „megfelelő szinten” a gépek működésével kapcsolatos természeti törvényeket, és egyénisége nem képes alkalmazkodni a gép használata során fellépő folyamatokhoz időben vagy térben. Ez a problémakör, a *biológiai inkompatibilitás* különösen fontos szerepet kap a közlekedésben.⁸ Ebből a komplexumból – a témához kapcsolódóan – csak néhányat emelünk ki:

- A gépjárművezető (általában) nem érzékeli a gépjármű fogyasztása és a jármű üzeme / terhelése / útviszonyok közötti összefüggést. Általában a sebességgel hozzák kapcsolatba a fogyasztást, anélkül, hogy a karakterisztika valóságos menetét ismernék. Azt kevesen látnák be, hogy a kedvezőtlen fogyasztás jelentős része a szakszerűtlen vezetéstechnika következménye.
- A gépjárművezetők többsége nem ismeri járművének műszaki paramétereit, jellegzetességeit, így az átmeneti üzemmódban gyakran ösztönösen és helytelenül járnak el. (Nagy gázfröccsök, hirtelen fékezések, a sebességfokozat rossz megválasztása jellemző a városi közlekedésben.)
- A közlekedők többsége nem érzékeli a pillanatnyi mozgási energia és a jármű sebessége közötti összefüggést, a követési távolság, a fékút kapcsolatrendszerét. Az összefüggések ismerete hiányában gyakran csak a baleseti kockázat tudata tartja vissza a nagy energiafelhasználástól a járművezetőket.
- Energiatudatos magatartás helyett a közlekedők többségére ösztönös vagy tanult környezettudatos-magatartás jellemző. Így a zsúfolt városok lakói tudják, hogy a tömegközlekedési eszközök fajlagos légszennyező hatásai kedvezőek, gyalogosan és kerékpárral kellene közlekedni, a városok centrumait a gépjárműforgalomtól el kellene zárni és a tömegközlekedési eszközökre kellene átváltani. Ismert az is, hogy a korszerű járművek környezeti paramétereit kedvezőek, ezek azonban csak szakszerű üzemeltetés esetén érvényesülnek.

⁸ Michelberger P. 1997: *A közlekedés hatása az ipar feladataira*. In: Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón. MTA, Budapest, pp. 55–71.

- A települések lakói aggódnak egészségükért, de mégis sokan a személygépjárműveket választják. Gyorsabbnak, kényelmesebbnek vélik (ez sokszor igaz is), ezért döntenek így.
- A településeken – valós vagy vélt érdekek alapján – a közlekedési úthálózat „korszerűsítésére” törekednek. Minden ’valamire való’ település igyekszik elkerülő utat kiharcolni, hogy a lakóknak kedvezőbb életminőséget biztosíthasson. A tapasztalat azonban gyakran kedvezőtlen: mégsem kerülnek el a települést a járművek, pótlólagos beruházásokra van szükség, a települések „kereskedelmi-kulturális” vonzereje nem érvényesül (Pitrik J. 2004a).

Összegezve megállapítható, hogy a közlekedés energetikai problémáit a lakosság közvetlenül általában nem érzékeli, de érzékeli és aktívan reagál a közlekedés forgalmi és környezeti problémáira.

Kérdéstár

1. Mi jellemzi a városi közlekedés extenzív és intenzív (I) koncepcióját? Írja az alábbi állításokhoz a megfelelő betűt!

| | |
|---|---|
| a) a mobilitási igény nő | E |
| b) új villamosvonal épül | E |
| c) területeket zárnak el a gépjárműforgalom elől | I |
| d) autóbusz sávot létesítenek (a régi sáv rovására) | I |
| e) gyorsító sávot jelölnek ki | I |
| f) új hidat építenek | E |

2. Jelölje meg a hagyományos (H) és az alternatív (A) gépjármű üzemanyagokat!

| | |
|----------------------------|---|
| a) 95-ös oktánszámú benzin | H |
| b) gázolaj | H |
| c) LPG | A |
| d) bioetanol | A |
| e) biodízel | A |
| f) 98-as oktánszámú benzin | H |

3. Egészítse ki az alábbi mondatot!

A kevésbé motorizált országokban a járműállomány jelentős lehet számítani, de ez a a rossz műszaki paraméterű, máshol már „selejtezett” járműállomány újbóli jelenti.

4. Milyen műszaki okai vannak annak, hogy a gépjármű üzemanyag fogyasztása magas városi körülmények között? Jelölje bekarikázással az alábbiak közül a helyes állítást!

- a) Az üzemanyag egy része nem ég el, mert a motor stationer üzemmódban dolgozik.
- b) A motor fordulatszáma alacsony, ezért a hatásfoka rossz.
- c) A motor felmelegszik, ezért az üzemanyag-levegő keverék jól feltölti a motort, teljesítménye nő.
- d) A motor konstrukciója olyan, hogy a gépjármű fogyasztási görbe minimuma a mindenkori városi forgalom átlagsebességére vonatkozik.
- e) Kis sebességnél nagyon sok a kipufogógáz mennyisége.

5. Egy személygépkocsi a városi forgalomban 20 km/óra átlagsebességgel képes haladni. Fogyasztása 10 l/100 km. Számolja ki, hogy mennyi a vizsgált jármű hány g üzemanyagot fogyaszt 1 km-en és ebből mennyi az elégtelen üzemanyag? Ez hány %-a fogyasztott üzemanyagnak!

Hogyan lehet csökkenteni a gépjármű fogyasztását városi körülmények között?

15. Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben II.

A közlekedés – és ezen belül a gépjármű közlekedés – növekedése kedvezőtlen társadalmi és környezeti hatásokat generált. Ezek közül kiemelhetők a közlekedési balesetek, a gépjárművek légszennyezési hatásai és a kedvezőtlen forgalmi állapotok kialakulása.¹

A gépjármű egy energia átalakító rendszer, mely „érzékeny” kölcsönhatásban van környezetével. A tapasztalatokat figyelembe véve már a 70-es években elkezdték a gépjármű gyártók az aktív és a passzív biztonsági rendszerek fejlesztését.

15.1. Aktív biztonsági rendszerek²

Az aktív biztonság célja, a balesetek elkerülése.

15.1.1. ABS – blokolásgátló³

Lényege, hogy intenzív fékezés esetén nem lép fel a kerékabroncs blokkolása, optimális lesz a fékút, a jármű kormányozható marad, az abroncon nem alakulnak ki intenzív helyi kopások.

A blokolásgátló rendszer legfontosabb érzékelője a kerékfordulatszám érzékelő. Az ún. referencia sebességet hasonlítják össze az egyes kerekek sebességével. Ha az kisebb, mint egy meghatározott küszöbérték, az elektronika a fékrendszernek nyomáscsökkentési parancsot ad ki. A hatásáról a kerékfordulatszám érzékelő visszajelzést ad az elektronikának.

¹ Az autó 100 éve alatt (1885–1985) 25 millióan haltak meg a közutakon. A sérülések, halálesetek nagy része a jármű megfelelő kialakításával elkerülhető lett volna. Hazánkban 2010-ben 16.248 személyi sérüléses közúti baleset történt, 9,05%-kal kevesebb, mint 2009-ben. Ezen belül a halálos kimebetelű balesetek száma 14,23%-kal csökkent: 752-ről 645-re. (Országos Rendőr-főkapitányság, 2011. január 14.)

² Kőfálsai Pál : Aktív biztonság. Kézirat

³ ABS = Anti Block System; Kifejlesztője: Fritz Ostwald

Az utóbbi években az ún. aktív kerékfordulatszám érzékelők terjedtek el, amelyek kis sebességtartományban is sokkal pontosabb jelet adnak. Ezeket a jeleket a fedélzeti számítógépek többcélúan is fel tudják használni.

15.1.2. ESP – menetstabilizáló⁴

Azt tapasztalták, hogy a magas építésű járművek nagy sebességű irányváltás és kanyarodás esetén borulékonyak.⁵

A kormánykerék elfordítás érzékelője alapján az elektronika „megtervezi” a vezető szándékának megfelelő menetpályát. A perdülés és kereszt irányú gyorsulás érzékelő alapján az elektronika meghatározza a gépkocsi tényleges menetpályáját. A két pálya összehasonlítása alapján történhet a beavatkozás.

15.1.3. Fékasszisztens

A fékasszisztens működése azon a megfigyelésen alapszik, hogy a járművezető veszély észlelése esetén hirtelen „lekapja” a lábát a gázpedálról, mert fékezési szándéka van.

Egy pedál elmozdulás érzékelő vagy nyomás érzékelő jele alapján az elektronika a fékasszisztenszt működteti. A gázpedál hirtelen visszaengedésére az elektronika a fékbetétet felfekteti, mielőtt a vezető elkezdene a tényleges fékezést. Így a fékút lerövidül.

A gépkocsi környezetének figyelésére radar, vagy gyors képfeldolgozású kamera is használható. A követési távolság veszélyes csökkenése és akadály felbukkanása során az érzékelők jeleire az elektronika reagál: hangjelzéssel (fényel) figyelmeztet, a motor nyomatékát csökkenti, fékez, kormányzást korrigál.

15.1.4. Egyéb aktív rendszerek

Az automatikus követési távolság szabályozó rendszer, melynek érzékelője a gépkocsi elejébe beépített radar. Kormánykorrekciót létrehozó aktív szervokormány. Elektromechanikus rögzítőfék. Aktív keréklégnyomás érzékelő. Aktív kerékfelfüggesztés. Aktív stabilizátor.

⁴ ESP = Elektronikus Stabilizáló Program

⁵ Ez az ismert rénszarvas teszt.

15.2. Passzív biztonsági rendszerek⁶

A passzív biztonsági rendszerek a balesetek következményeit mérséklék.

A különböző biztonsági rendszerek kimunkálásához az emberi testet érő lassulás hatásait vizsgálták. Különböző kísérleteket fejlesztettek ki. (Pl. Sínen haladó járművet rakétával gyorsították és fékeztek; Daruval ejtették le a biztonsági övvel bekötött próbabábus gépkocsikat;) Járművek ütközési adatait feldolgozták, a különböző ütközési módok gyakoriságát megállapították, ütközési tesztek szabványosítottak.

15.2.1. SPR – Utasvisszatartó rendszerek⁷

Az 1980-as évekig a gépjárművek kormányoszlopa súlyos sérüléseket okozott frontális ütközések során. Ennek kiküszöbölésére a kormányoszlopba deformációs zónát alakítottak ki, és a gépjárművet biztonsági övvel szerelték fel.⁸

A **biztonsági öv** használata Európában 1974-től kötelező. A merev övet automatikusan beálló öv követte, melyet övfeszítővel egészítettek ki. Ütközéskor fellépő erő hatására az öv ~50 mm-t nyúlik, ezt felcsévével kompenzálni kell. A feszítés megvalósítható mechanikusan és pirotechnikai úton.

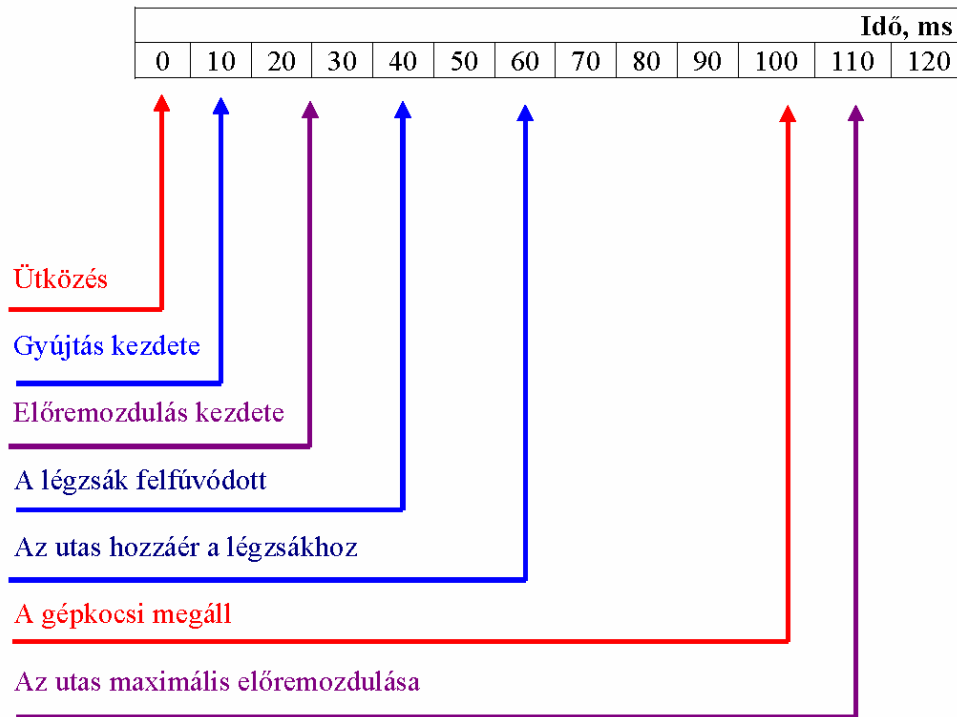
A **légszák** 25–30 km/h feletti ütközés esetén felfúvódik (pirotechnikai töltetből), 550 km/óra sebességgel nyit az utas felé, majd néhány tized másodperc alatt leereszt, továbbiakban nem nyújt védelmet. A tapasztalat, hogy az első ütközést továbbiak követhetik. Európában a vezető légszák 35 literes, az utas légszák 65 literes. A légszák vezérlés korábban analóg, ma digitális vezérléssel történik. Újdonságok: az *ülés elfoglaltság jelzés* és a szakaszos felfúvás, így az ütközés erejének megfelelően növelik a gáznyomást. Ma már oldal légszákot és függöny légszákot is alkalmaznak. (15.1. ábra, 15.1. kép)

A légszák és a biztonsági öv együttműködését nevezik utasvisszatartó rendszernek. Speciális fejlesztések: biztonsági öv becsatolás érzékelés; kikapcsolható első utas légszák; gyermekülés felismerés; ülésfoglaltság érzékelés.

⁶ Dr. Kismartoni Péter: Passzív rendszerek. Kézirat, Prezentáció

⁷ Supplemental Restraint System

⁸1953: Kétpontos öv: Klippan; 1959: Három pontos öv: Nils Bohlin; 1956: Biztonsági kormányoszlop: Barényi Béla;



15.1. ábra: A légszák működése az idő függvényében

15.2.3. Deformációs zónák

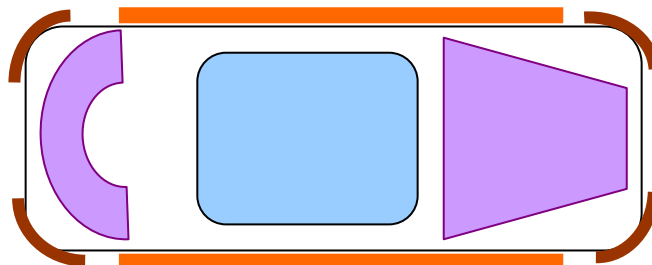
A deformációs zónák feladata az ütközés során fellépő energiák elnyelése.

1970-től a szakemberek intenzíven foglalkoztak az ütközés során fellépő energiák hatásainak csökkentésével. Kezdetben hidraulikus lökhárítókkal kísérleteztek, később az energianyelők kialakítása felé fordult a figyelem. Barényi Béla 1951-ben szabadalmaztatta az első és a hátsó energiaelnyelő zóna kialakítására vonatkozó elképzeléseit (15.2. kép). Az újabb vizsgálatok azt mutatják, hogy egy jól védett utascellát kell kialakítani és a különböző erőhatásokra eltérítő zónákat, csúsztató zónákat és gyűrődő zónákat kell létesíteni (15.2. ábra).⁹

⁹ <http://www.termesztvilaga.hu/tv2003/tv0302/vincze.html>



15.1. kép: A légszakok elhelyezkedése



15.2. ábra: A jármű kompatibilitás főbb zónái¹⁰

■ eltérítő zóna; ■ csúsztató zóna; ■ gyűrődő zóna; ■ utascella



15.2. kép: A gyűrődő zóna viselkedése ütközés esetén

¹⁰ Két jármű akkor kompatibilis, ha ütközéskor a túlélési esély azonos a bent ülők számára.

15.3. Gépjárművek légszennyezési hatásai

A közlekedés és ezen belül a gépjármű közlekedés energetikáját röviden már elemeztük. A közlekedő ember számára nyilvánvaló, hogy a mobilizáció energiafelhasználással jár. Ismert az is, hogy a gépjárművek hatásrendszert generálnak, s végső hatásviselő az EMBER és KÖRNYEZETE.

Az ok-okozati, azaz a hatáslánc szemlélet alkalmazása nélkül nem tárható fel megbízhatóan a településhez kapcsolódó közlekedés bonyolult rendszere és a kapcsolódó folyamatok. A hatásrendszer bármely láncát is követjük nyomon további részletek vizsgálhatók, és lényegileg ezek segítik a beavatkozási „pontok”, a beavatkozási stratégia rögzítését. Az összefüggések feltárását a térbeliség és az időfüggés is nehezíti. Egy-egy lánc elágazásainak bonyolultsága miatt a rendszer oly összetett, hogy fontossági sorrendet a problémák megoldására találni nehéz. Az azonban a hatásrendszer vázlat elemzéséből is látszik, hogy ha egy településen „egy forrópont” megszüntethető, az kedvezően hat más láncokra is (15.1. táblázat/1).^{11, 12}

A gépjárművek légszennyezési folyamatainak részletes vizsgálatától itt eltekintünk, csak néhány olyan kérdést érintünk, amely segít az energiagazdálkodási szemlélet kialakításában.

A 15.2. táblázat kőolajjegyértékben mutatja a világ energiatermelésének megoszlását és látható, hogy a $3,08 \cdot 10^9$ tonna feldolgozott kőolaj gépjárműben kerül felhasználásra. A gépjárművek légszennyezése főként a szénhidrogének oxidációs termékeiből, az alkotók disszociációjából, termikus bomlásokból és mellékreakciókból, valamint az adalékok reakciótermékeiből áll. A kipufogógáz összetevői között jelentős lehet az el nem égett szénhidrogén mennyisége.¹³

Az Ottó és a Diesel motorok eltérő működésűek, így eltérő folyamatok alapján működnek. A legfontosabb szennyező anyagok: a CO_2 , a CO, NO_x , C_xH_y , szilárd részecskék. A motor konstrukció során mindazon műszaki megoldások alkalmazására törekednek, amelyek a káros anyagok mennyiségét csökkentik, de az általánosan elterjedt megoldás: az utóátalakító rendszerek alkalmazása.

¹¹ Bakács T.–Barna B. 1999: Környezetvédelmi szabályozás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. Környezetgazdálkodási Intézet, Budapest, p. 80.

¹² Rédey Á.–Módi M. 2002a: Vázlatok a „Környezetállapot-értékelés” jegyzethez. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, p. 84.

¹³ Pitrik József: Gépjárművek légszennyezése, JGYF Kiadó, Szeged, 2005. p. 68.

| A világ energiatermelése | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| 10 ⁹ tonna kőolajegyenérték | | | | | |
| | 1973 | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
| Összes energiatermelés | 5,5 | 7,6 | 8,7 | 10 | 13,7 |
| Megújuló | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| Vízi | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,4 |
| Nukleáris | | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| Szén | 1,5 | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 3,2 |
| Földgáz | 1 | 1,6 | 1,8 | 2,4 | 3,5 |
| Kőolaj | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 4 | 5,5 |
| | | | | | |
| Közlekedés által felhasznált kőolaj, % | 37 | 46 | 50 | 53 | 56 |

15.1. táblázat: A világ energiatermelése és a gépjárművek energiafelhasználása

15.3.1. Az Ottó motorok károsanyag tartalmának csökkentése

Az Ottó motor üzemanyag–levegő keverékkel működik. Az üzemanyag és a levegő pillanatnyi tömegaránya alapján gazdag illetve szegény keverékről beszélünk.¹⁴

$$\lambda = \frac{L_v}{L_e}$$

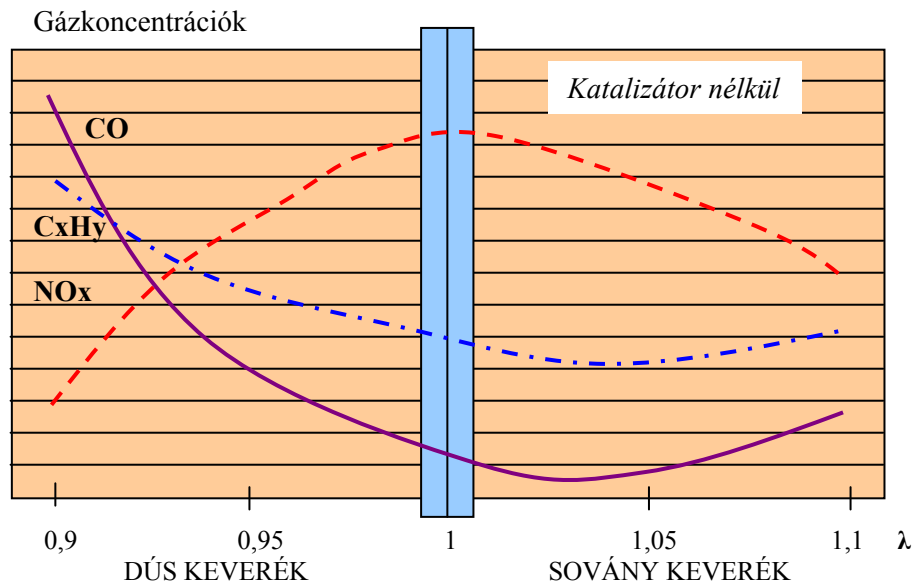
A klasszikus Ottó motor üzemanyagellátó rendszere a *karburátor*, amely a (gépjárművezető mindenkori igényéhez igazodóan) a motor mindenkori üzemállapotához szükséges keveréket állítja elő. A mai gépjárműmotorok üzemanyag ellátását *injektoros* rendszerekkel valósítják meg. Három alaptípust különböztetünk meg, a szerint, hogy hol történik a keverékképzés: központi injektálás (~1 bar) a szívócsőben, hengerenkénti injektálás a szívócsőben (~2,5 bar), és a közvetlen injektálás a hengerbe (~80–200 bar). A keverék égési sajátosságaitól függ, hogy a motor milyen káros anyagokat állít elő. A motor konstrukciós módosítására vannak lehetőségek, de a gyártók hosszú ideig az égéstér utáni rendszerek fejlesztésére koncentráltak. Így fej-

¹⁴ λ – légviszony; L_v – valóságos levegőmennyiség; L_e – elméleti levegőmennyiség; 1kg benzintökéletes elégetéséhez 14,7 kg levegőre van szükség.

lesztették ki a redukáló kamrát (NO_x csökkentésére), az oxidáló kamrát (a CO és a C_xH_y oxidálására) és a hármashatású katalizátort mindhárom káros anyag mérséklésére. A katalizátor nélküli és a hármashatású katalizátor hatására történő szennyezőanyag változást a 15.3. ábra és a 15.4. ábra mutatja.¹⁵ Látható, hogy csak akkor tudjuk az Ottó motor mindhárom károsanyagtartalmát csökkenteni, ha a légviszony 1 közelében marad. Ez csak úgy érhető el, ha a motort elektronikusan irányítjuk, az üzemanyag ajánlott összetételét betartjuk.¹⁶

15.3.2. A Diesel motorok károsanyag tartalmának csökkentése

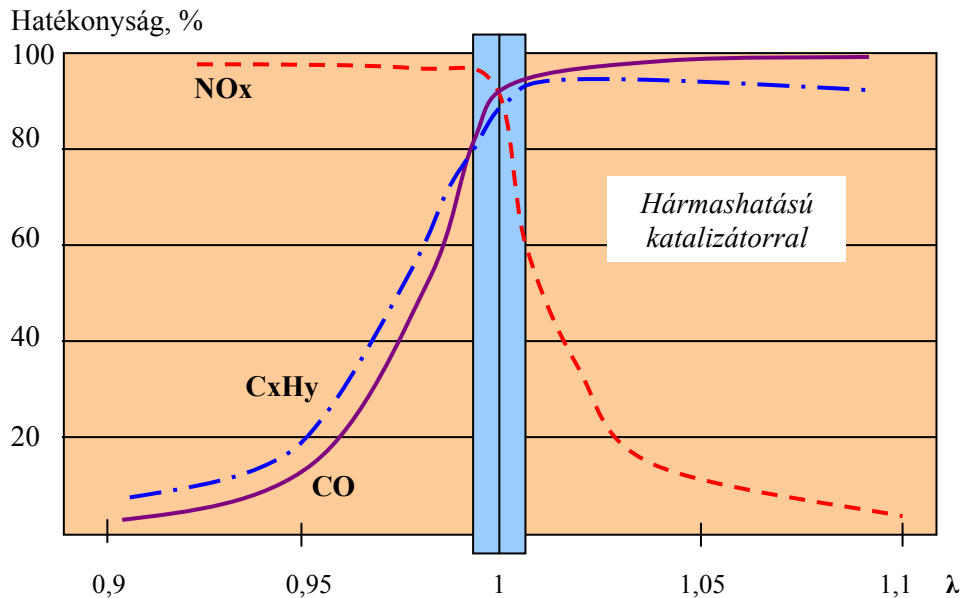
A klasszikus Diesel motorok tiszta levegőt szívnak, majd sűrítenek, így a magas hőmérsékletű nagy nyomású levegőbe befecskendezett gázolaj egy része öngyulladás következtében meggyullad, s ez a további részeket meggyújtja.



15.3. ábra: Kipufogógáz főbb szennyezőinek változása I.

¹⁵ Pitrik József: Gépjárművek légszennyezése, JGYF Kiadó, Szeged, 2005. p. 68.

¹⁶ Részletesen: Dr. VASS Attila (szerk.): Belsőégésű motorok szerkezete és működés. Szaktudás Kiadóház, Budapest, 2005. pp. 108–118.



15.4. ábra: Kipufogógáz főbb szennyezőinek változása II.

Ha a Diesel motorokat ún. turbófeltöltővel látják el, több üzemanyag vihető be, így a teljesítmény növelhető. A befecskendezés ~1000 bárral történt, közvetlen vagy közvetett módon, speciális égésterek alkalmazásával (15.3. kép). A motor égési folyamatai összetettek, számtalan tényező függvényei. A modern motorok elektronikus Diesel szabályozással vannak ellátva, s terjedőben van a közös nyomásterű befecskendező rendszer, melynek befecskendezési nyomása: ~2000 bar.¹⁷

A modern motorok legnagyobb problémája, hogy a NO_x és a részecskék jelentős mennyisége. Ezek keletkezése jelentősen összefügg az üzemanyag jellemzőivel (pl. ásványanyag tartalmával), a terheléssel, a befecskendezéssel, az égéstér kialakításával.

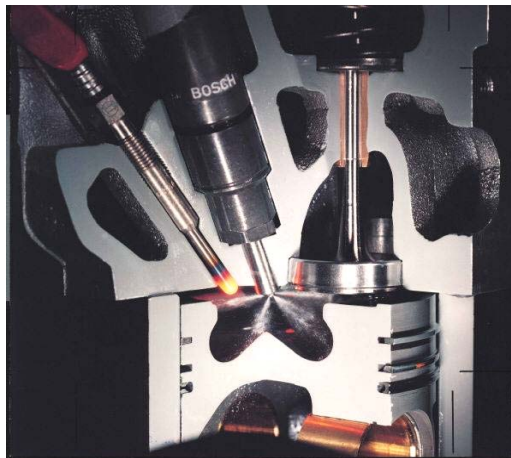
Az Ottó motorokhoz hasonlóan, itt is utóátalakítók segítségével csökkentik a károsanyag tartalmat. Ezek közül a legfontosabb az ún. DENOX katalizátor rendszer, amely az NO_x csökkentését végzi és a részecske emissziót csökkentő DPNR rendszer.

¹⁷ Common rail = közös cső

A Diesel károsanyag csökkentő rendszerek alkalmazását nehéz járművek esetén ma már az EU előírja. A három Diesel kategória jelenleg érvényes emisszióit a 15.2. táblázat foglalja össze.^{18, 19}

| | | Kibocsátás, g/km | | | |
|---|---------|-------------------|-------|------|------------|
| | Fokozat | $CxHy + NOx$ | NOx | CO | Részecskék |
| <i>Diesel-motoros személygépjármű</i> | Euro 4 | 0,30 | 0,25 | 0,50 | 0,140 |
| <i>Könnyű Diesel-motoros haszongépjármű</i> | Euro 4 | 0,46 | 0,39 | 0,74 | 0,060 |
| | | Kibocsátás, g/kWh | | | |
| | | $CxHy$ | NOx | CO | Részecskék |
| <i>Nehéz Diesel-motoros gépjármű</i> | Euro 5 | 0,55 | 2,00 | 4,00 | 0,03 |

15.2. táblázat: Diesel-motoros járművek emissziójának határértékei



15.3. kép: Hagyományos Diesel motor égéstere

¹⁸ Nagy Gábor–dr. Hancsók Jenő: Diesel motoros gépjárművek utóátalakító katalizátorai I. In: MOL Szakmai Tudományos Közlemények 2006/1. pp. 85–108.

¹⁹ DPNR = Diesel Particulate- NO_x Reduction;

Kérdéstár

1. Mi az aktív biztonsági rendszer célja?
 - a) A balesetek elkerülése.
 - b) A balesetek következményeinek mérséklése.
 - c) Az emberi testet érő erőhatások mérséklése.
 - d) Ütközések elkerülés.
 - e) A károk mérséklése.

2. Mi jellemzi a fékasszisztens működését?
 - a) Intenzív fékezés esetén a blokkolás elkerülhető.
 - b) Gyors irányváltás esetén is stabil marad a jármű.
 - c) A gázpedál hirtelen visszaengedésekor a vezető nélkül is elkezdődik a fékezés folyamata.
 - d) Szabályozza a követési távolságot.
 - e) Növeli a fékutat.

3. Mely állítások igazak az utasvisszatartó rendszerekre?
 - a) 30 km/h feletti ütközésnél felfúvódik a légszák.
 - b) 10 km/h sebességű ütközésnél felfúvódik a légszák.
 - c) A felfúvódás után a légszák 1 perc múlva leenged.
 - d) A felfúvódás után a légszák nem ereszt le, csak ha beavatkoznak.
 - e) Az ütközés és a légszák felfúvódás között 100 ms idő telik el.

4. Mi az utascella feladata?
 - a) Védelmet nyújt az utasnak.
 - b) Deformálódik és felveszi az erőket.
 - c) Meggátolja az utas kiesését.
 - d) Eltéríti az oldalról ütköző járművet.
 - e) Elcsúsztatja a párhuzamosan ütköző járművet.

5. Melyik állítások igazak az Ottó motorra?
- Levegőt szív és sűrít.
 - Üzemanyag-levegő keveréket szív és sűrít.
 - Kompresszió gyújtása van.
 - Gyújtógyertya szikrája gyújtja meg az üzemanyag-levegő keverék egy részét és ez égés terjed tova.
 - Izzítógyertya gyújtja meg a keveréket.
 - Az üzemanyag-levegő keveréket csak karburátorral lehet előállítani.
6. Melyik állítások igazak az Diesel motorra?
- Levegőt szív és sűrít.
 - Az összenyomott levegőbe befecskendezik a gázolajat.
 - Üzemanyag-levegő keveréket szív és sűrít.
 - Izzítógyertya gyújtja meg a keveréket.
 - Gyújtógyertya szikrája gyújtja meg az üzemanyag-levegő keverék egy részét és ez égés terjed tova.
 - A befecskendezési nyomás < 10 bar.
7. Számolja ki, mennyi kőolajat fordít a világ 1990/2000/2010/2020-ban közlekedésre (15.2. táblázat)! Keresse adatokat ezen évek gépjármű állományára. Becsüljön fogyasztást (kőolajban, benzinben, gázolajban)!
8. Melyik állítások igazak katalizátor nélküli esetre (Ottó motor)?
- Az NO_x a dús keverék tartományban növekszik a $\lambda=1$ állapotig, majd csökken.
 - A C_xH_y a levegő növekedésével tovább oxidálódik, így csökken.
 - A CO a levegő növekedésével tovább oxidálódik, így mennyisége nő.
 - Az NO_x a $\lambda=1$ állapotban a legkisebb.
 - A CO $\lambda=1$ állapotban a legkisebb.
 - A C_xH_y $\lambda=1$ állapotban a legkisebb.